

СОДРЖИНА

1. ВОВЕД.....	3
2. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРАТА	5
3. ЦЕЛ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО	7
4. МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЧКАТА РАБОТА.....	8
4.1. Теренски активности	8
4.2. Лабораториски активности.....	13
5. ОПШТИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ИСТРАЖУВАНИОТ ПРОСТОР ВО РУДНИКОТ БУЧИМ.....	15
6. ГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА НАОЃАЛИШТЕТО БУЧИМ	17
6.1. Геолошки состав на наоѓалиштето	20
6.2. Морфоструктурна класификација на рудните тела	24
6.3. Минерален состав на рудата	26
6.4. Сколоп на рудата	30
6.5. Хемиски состав на рудата	31
7. ДЕФИНИРАЊЕ НА ТЕХНОЛОШКИОТ ПРОЦЕС И РУДНИЧКИОТ ОТПАД ВО РУДНИКОТ БУЧИМ.....	36
7.1. Профил на рудникот Бучим	36
7.2. Рударски работи.....	37
7.3. Метали, руди и индустриски минерали	38
7.4. Руднички отпад	39
8. ТЕХНОГЕНО НАОЃАЛИШТЕ ПОВРЗАНО СО КОПОВСКОТО ОДЛАГАЛИШТЕ НА РУДНИКОТ БУЧИМ.....	48
8.1. Распаѓање на сулфидниот руднички отпад.....	48
8.2. Реакции кои создаваат киселина во сулфидниот руднички отпад.....	49
8.2.1. Пирит.....	49
8.2.2. Други сулфиди	52
8.3. Реакции кои ги разблажуваат киселините во сулфидниот руднички отпад.....	53
8.3.1. Силикати.....	54
8.3.2. Стапка на реакција	56
8.4. Предвидување на создавањето на киселина	58
8.4.1. Геолошко моделирање	58
8.4.2. Геолошки, петрографски, геохемиски и минералошки опис	60
8.4.3. Геохемиски тестови	60
8.4.4. Моделирање на оксидацијата на сулфидните одлагалишта	60
8.5. Еколошки последици.....	62
8.5.1. Бакар и други тешки метали во површинските почви од околината на рудникот Бучим.....	62
8.5.1.1 Извори и транспорт на бакар во околината	63
8.5.1.2 Резултати од испитувањата на почвите	66
8.5.2. Руднички води на подрачјето на рудникот Бучим.....	76
8.5.2.1. Процеси во рудничките води.....	77
8.5.2.2. Предвидување на составот на рудничките води.....	82

8.5.2.3 Еколошки последици од рудничките води и стратегии за нивно управување применети во рудникот Бучим	85
8.6. Експлоатација на одлагалиштето бр. 1 со хидрометалуршки процес за добивање на бакар со метода на лужење	112
8.6.1. Геотехнолошки комплекс	113
8.6.1.1 Основно одлагалиште бр. 1	113
8.6.1.2. Одлагалиште за оксидна руда	114
8.6.2. Производен (преработувачки) комплекс.....	116
8.6.3. Опис на технолошкиот процес.....	116
8.6.4. Економски ефект од лужење на наводнувачкото поле 4 во одлагалиштето бр. 1	117
9. ТЕХНОГЕНО НАОЃАЛИШТЕ ПОВРЗАНО СО ХИДРОЈАЛОВИШТЕТО НА РУДНИКОТ БУЧИМ.....	123
9.1. Особености на флотациската јаловина.....	124
9.1.1. Технолошки хемикалии.....	125
9.1.2. Јаловински течности	127
9.1.3. Јаловински цврсти честички.....	128
9.2. Јаловинска брана Тополница	129
9.2.1. Хидрогеологија на јаловината	131
9.2.2. Инцидентни ситуации.....	133
9.3. Флотациското јаловиште Тополница како техногено наоѓалиште	134
9.3.1. Вредности на технолошките показатели во подготовката на минералните сировини во рудникот Бучим	134
9.3.2. Истражување на флотациските јаловишта како техногени наоѓалишта.....	137
9.3.3. Истражување на флотациското јаловиште во Бучим и негова вредносна оценка	138
9.4. Можности за рециклирање на флотациската јаловина	140
9.4.1. Пресметка на трансфер факторот на системот техногена почва – растение во рудникот Бучим	141
9.4.1.1 Трансфер фактор (TF) од почва до растение	144
9.4.1.2. Проучувано растение	144
9.4.2. Резултати од пресметка на трансфер факторот	145
10. ЗАКЛУЧОК.....	153
11. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES)	155

1. ВОВЕД

Имајќи во предвид дека рудното богатство од ден на ден се исцрпува и тоа не се обновува секоја година како културите кои се засадуваат и со примена на агротехничките мерки се подобрува нивниот принос, во иднина треба да дадеме поголемо значење на друг вид наоѓалишта. Таков вид наоѓалишта треба да претставуваат техногените наоѓалишта.

Бучимските техногени наоѓалишта и количеството на рудничка јаловина од околу 140 милиони тони и флотациска јаловина од околу 80 милиони тони со свој облик и димензии, формирани се со депонирање на масите третирани како отпад при експлоатација за екстракција и екстракцијата на одредени корисни компоненти.

Според потеклото на материјалот бучимските техногени наоѓалишта може да се поделат на:

- техногени наоѓалишта составени од јалов материјал кој потекнува од експлоатацијата од површинските копови (бидејќи со ваквата експлоатација се исфрлаат маси во големи количини). Таквите наоѓалишта се составени од парчиња (ретко блокови) со неуедначен гранулометриски состав и нерамномерна распореденост на корисните компоненти и
- техногени наоѓалишта на современото флотациско јаловиште.

Со експлоатацијата на рудата и класичната флотациска постапка обично се третираат руди во кои содржината на корисните компоненти обезбедува одредена минимална финансиска добивка. Така, на пример, денес со таква постапка се третираат бакарни руди од наоѓалиштето Бучим чија содржина се движи над 0,15% Cu, но во периодот пред 20 години се третирале руди со гранична содржина од 0.25% Cu. Меѓутоа, како што знаеме, се повеќе и повеќе се обезбедуваат бакарни руди чија содржина е под горенаведената денешна гранична содржина на корисниот метал, па од тие причини се пристапи кон пронаоѓање на нови посовремени и поекономични начини за добивање на металот. Така во последните педесетина години добивањето на поедини метали како што се бакарот, златото, молибденот и др. со хидрометалуршка постапка на лужење е од посебен интерес и важност.

Докажано е дека со оваа метода можат ефикасно да се експлатираат сиромашните сировини, се разбира, во границите на економски оправдани критериуми. Со постапката на хидрометалуршката метода денес се преработува одла-

галиштето бр. 1 во рудникот Бучим, кое, како што рековме погоре, спаѓа во групата на техногени рудни наоѓалишта.

Од друга страна, овде големо внимание се посветува и врз проблематичните цврсти отпадоци и врз отпадните води, кои се создаваат и се одлагаат во рудникот Бучим. Проблематични се затоа што во себе содржат опасни супстанции (на пр. тешки метали, полуметали, киселини, реагенси), поради што треба да се следат, да се пречистуваат и безбедно да се одлагаат. Рудничкиот отпад претставува реална подлога за загадување на човековата околина, на површинските и на подземните води, на почвите и на растенијата.

2. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРАТА

За подобро и подетално запознавање со проблематиката која е опфатена во рамките на овој магистерски труд, се користени податоци од извештаите на компанијата која врши детални истражувања и експлоатација на просторот кој го зафаќа наоѓалиштето Бучим т.е. ДПТУ „Бучим“ ДООЕЛ – Радовиш, податоци од расположливата фондовска литература пред се од геолошката служба на рудникот Бучим. Беа изведени и дополнителни истражувања и проучувања, со цел да се добијат што понови и подетални податоци, кои ќе ги надградат, но и ќе дадат нови сознанија за техногените наоѓалишта во рудникот Бучим.

Притоа за изработка на магистерскиот труд се користени податоци и подлоги од истражуваните работи и лабораториските испитувања од следниве научни трудови:

Bermanec, V., Žigovečki, Ž., Tomašić, N., Palinkaš, L.A., Kniewald, G., Serafimovski, T. Stream sediment mineralogy as indicator of environmental impact of copper deposits exploitation in Buchim, Macedonia (2005) 3rd International Workshop on the UNESCO – IGCP Project: Anthropogenic Effects on the human Environment in Tertiary Basins in the Mediterranean, Štip, 87 – 90.

Lottrmoser, BG. (2007) Mine Wastes: Characterization, treatment and environmental impacts, 304, School of Earth and Environmental Sciences, James Cook University, Australia.

Serafimovski, T., Mihajlov, M., Siderovski, K., Tasev, G., Konzulov, G., (2011) Anthropogenic influence of the Buchim mine waste dump and hydrotailing to the surface and ground waters in the Lakavica basin, Macedonia. 3rd International Workshop on the UNESCO – IGCP Project: Anthropogenic Effects on the human Environment in Neogene Basins in the SE Europe, Štip – R. Macedonia, 39 – 52.

Šmuc, N.R., Dolenc, T., Serafimovski, T., Tasev, G., Dolenc, M., Vrhovnik, P. (2011) Transfer factor evaluation in the Kočani field soil – plant system (Republic of Macedonia). 3rd International Workshop on the UNESCO – IGCP Project: Anthropogenic Effects on the human Environment in Neogene Basins in the SE Europe, Ljubljana - Slovenia, 15 – 20.

Stafilov, T., Balabanova, B., Šajn, R., Bačeva, K., Boev, B. (2010) Geochemical atlas of Radoviš and the environs and the distribution of heavy metals in the air. Faculty of Natural Sciences and Technical, Skopje.

Trendafilov, A., Andonski, A., Trendafilov, B. (2007) Project for biological reclamation of the tailing dam “Topolnica” and its immediate surroundings. Faculty of forestry, Skopje.

Tudjarov, N., Mitevski, G., Zdravkovski, T. (1996) Technogenic deposits. 191-197.

Čifliganec, V. (1993) Copper mineralization in the Republic of Macedonia: Types and distribution patterns: With special reference to the porphyry copper deposit Bučim. Faculty of mining and Geology – Štip, Skopje, 303, 41 – 115.

За што поголема комплетност при финализирањето на магистерскиов труд беа користени и поедини расположливи податоци од Интернет (табела 1).

Табела 1. Интернет – страници за општите аспекти за рудничкиот отпад.

Table 1. Web sites covering general aspects of mine wastes.

Организација/Organization	Интернет – адреса и опис/Web address and description
United Nations Environmental Programme (UNEP) Mineral Resources Forum	http://www.mineralresourcesforum.org информации, публикации и проучување на случаи за рударство и животната средина/Information, publications and case studies on mining and the environment
US Environmental Protection Agency (EPA)	http://www.epa.gov/superfund/programs/aml/tech/index.htm http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/std/mtb/mwt/ http://www.epa.gov/osw информации за напуштени руднички подрачја и информации за отпад од ископување и подготовка на минералната сировина/Information on abandoned mine lands and information on mining and mineral processing wastes
Mining Information Service EnviroMine	http://tehnology.infomine.com/enviromine вести и информации за сулфидниот отпад, вклучително и статички и кинетички тестови/News and information on sulfidic wastes including static and kinetic tests
The International Network for Acid Prevention (INAP)	http://www.inap.com.au индустриска иницијатива за координирање на истражувањата и развојот на справување со сулфиден отпад/Industry based initiative to coordinate research and development into the management of sulfidic wastes
Minesite Drainage Assessment Group (MDAG), Canada	http://www.mdag.com проучување на случаи, на написи, на извори и на изданија за руднички води/Case studies, articles, resources and publications on mine waters
Tailings.Info	http://www.tailings.info подробни информации за јаловина/Detailed information on tailings
Mining Information Service TailingsMine	http://tehnology.infomine.com/tailingsmine извештаи за јаловина/Reports on tailings

3. ЦЕЛ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Цел на истражувањето на овој магистерски труд е:

- да изврши проценка на степенот на контаминираност на површинските и подземните води, почви и растенија во непосредна близина на техногените наоѓалишта во рудникот Бучим;
- критички осврт врз начинот на заштита од влијанијата на техногените наоѓалишта врз животната средина, пред се на искористувањето на рудничките води кои дренираат од одлагалиштето бр. 1 во технолошкиот комплекс за добивање на катоден бакар;
- биолошката рекултивација на браната на хидројаловиштето Тополница со багрем (лат. *Robinia Pseudoacacia*) во изминатиот период и
- предлози за ефектуирање на серија на економски показатели кои се во функција на натуралните и вредносните показатели на металите во третираните техногени наоѓалишта, што како краен ефект би бил економскиот.

Всушност, со овој магистерски труд е опфатена една мошне актуелна и комплексна тема на проучување, во чии рамки се синтетизирани геолошки, геохемиски, хемиски, минеролошки, биохемиски и еколошки испитувања на теренот.

Овој магистерски труд ќе се обиде да даде одговор на основното прашање поврзано со рудничкиот отпад, а тоа е дали тој е непосакуван нуспроизвод или скапоцена сировина. Одговорот е во согласност со можностите и со огромната поддршка од податоците од претходните и од најновите детални истражувања кои се спроведени на просторот кој го зафаќаат бучимските техногени наоѓалишта и самото бучимско наоѓалиште.

4. МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЧКАТА РАБОТА

За реализација на поставената цел т.е. за изготвување на магистерскиов труд насловен како „Техногени наоѓалишта во рудникот Бучим и нивните потенцијални економски и еколошки ефекти“, беа изведени повеќеетапни активности, кои се состоеја од теренски и лабораториски испитувања, како и анализа и интерпретација на добиените резултати.

За истражувањата и проучувањата кои се опфатени во овој магистерски труд беа изведени следниве активности:

- теренски активности, кои се состоеја од површинско опробување на почви, техногени почви од флотациското јаловиште и отворениот склад на руда, на површински и подземни води, на корен и на млади гранки од багрем (лат. *Robinia Pseudoacacia*) и на зелени алги и
- лабораториски активности кои се состоеја од:
 1. Подготовка на пробите и
 2. Геохемиски испитувања.

По реализацијата на предвидениот обем на истражувања и испитувања, извршена е анализа на добиените податоци, нивна интерпретација, компјутерска обработка и графичко претставување, при што беа употребени соодветни софтверски програми (Adobe Photoshop, AutoCAD 2007, Surfer 9, Statistica 6 и др.).

4.1. Теренски активности

На потесниот и поширокиот простор кој го зафаќаат коповските јаловишта и хидројаловиштето како и рудникот и флотацијата за бакар Бучим се изведени следните теренски истражувачки работи:

▪ Почвено опробување на поширокиот простор

Опробувањето на почвите е изведено со цел да се идентификуваат евентуално контаминирани зони со тешки и токсични елементи, имајќи ги во предвид антропогените активности во регионот првенствено рударењето, употребата на моторни масла, согорувањето на фосилни горива, употребата на големи количини минерални (вештачки) ѓубрива и наводнувањето со загадени води.

Примероците на почва се собираат според претходно утврдена шема за земање почвени проби. На секоја локација се собираат примероци од површинскиот слој на почвата (0 – 5 cm). Примероците на почва се собираат според

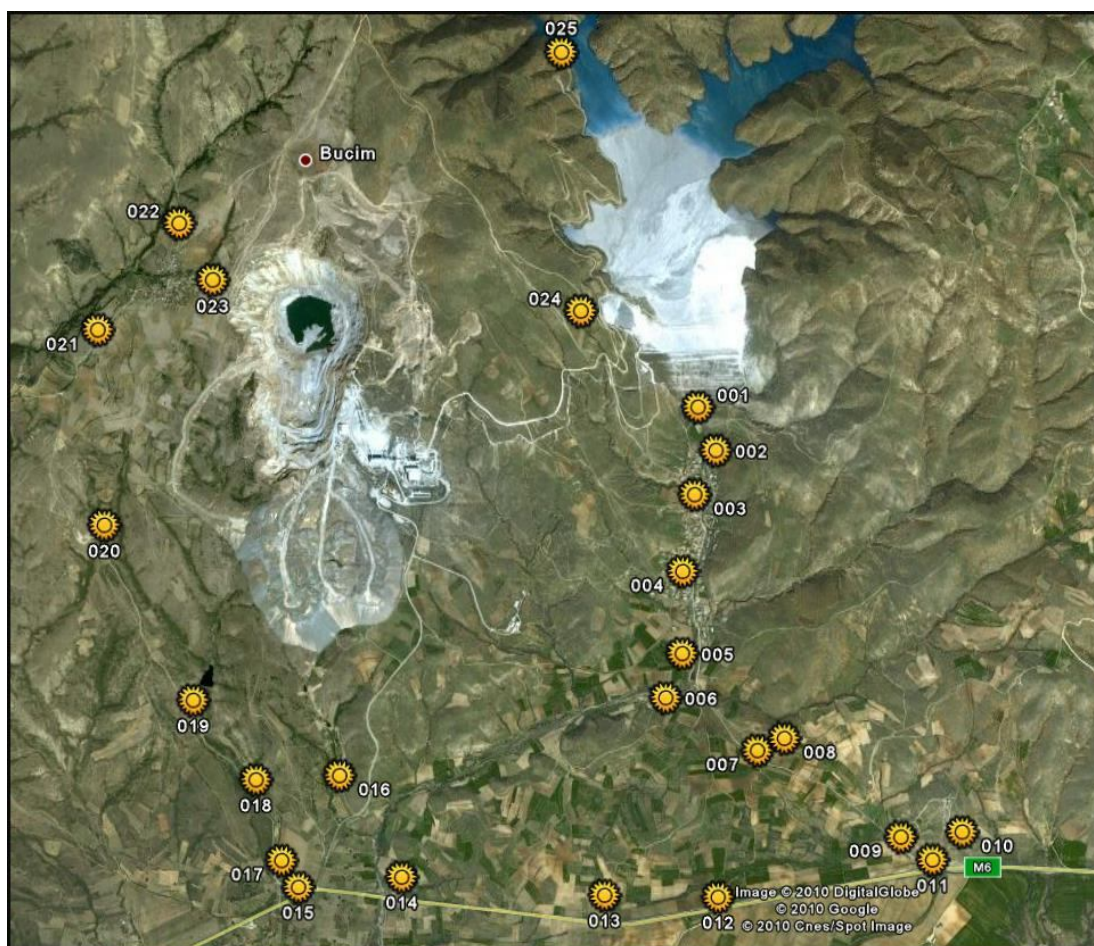
одредени стандарди за земање почвени примерци (Т. Stafilov et al. 2010). На локацијата одредена за земање примерок од пет точки се отстранува површинскиот слој (1 – 2 cm) на земјиштето и до длабочина од 5 cm се ископува почва која се става во најлонска кеса. Една проба се зема во средишната точка и четири дополнителни проби се земаат од точките кои се наоѓаат во аглите на квадрат со страните од околу 10 m, со што еден примерок всушност претставува композит од 5 примероци. Сите заедно се собираат во една најлонска кеса. Лоцирањето на сите земени проби е извршено со GPS, при што се снимени координатите и котите на секоја поединечна проба.

На 10 февруари 2010 година земени се примероци од површински почви од 25 локалитети во пошироката околина на рудникот и флотацијата за бакар Бучим. Ознаките и координатите на местата од кои се земени примероците се дадени во табела 2, а на слика 1 е прикажана нивната локација во испитуваното подрачје.

Табела 2. Координати на земените примероци од почви од околината на рудникот и флотацијата за бакар Бучим.

Table 2. Coordinates of the samples taken from soils from the surrounding of the mine and flotation for copper Bucim.

Реден број/ Ordinal number	Ознака/Mark	Кординати/ Coordinates	
		X	Y
1	P-1	7 617 698.94	4 614 169.43
2	P-2	7 614 811.90	4 613 905.89
3	P-3	7 614 686.65	4 613 635.46
4	P-4	7 614 617.80	4 613 165.37
5	P-5	7 614 623.52	4 612 662.54
6	P-6	7 614 526.00	4 612 392.55
7	P-7	7 615 093.36	4 612 080.74
8	P-8	7 615 256.45	4 612 157.40
9	P-9	7 615 976.49	4 611 567.34
10	P-10	7 616 350. 84	4 611 604.24
11	P-11	7 616 173.15	4 611 428.58
12	P-12	7 614 862.61	4 611 169.93
13	P-13	7 614 165.88	4 611 171.16
14	P-14	7 612 916.91	4 611 256.41
15	P-15	7 612 281.52	4 611 187.74
16	P-16	7 612 532.22	4 611 879.70
17	P-17	7 612 177.15	4 611 346.63
18	P-18	7 612 018.94	4 611 846.99
19	P-19	7 611 638.79	4 612 331.65
20	P-20	7 611 122.47	4 613 394.26
21	P-21	7 611 102.01	4 614 566.39
22	P-22	7 611 594.08	4 615 206.53
23	P-23	7 611 800.53	4 614 873.44
24	P-24	7 613 998.31	4 614 725.99
25	P-25	7 613 855.72	4 616 275.69

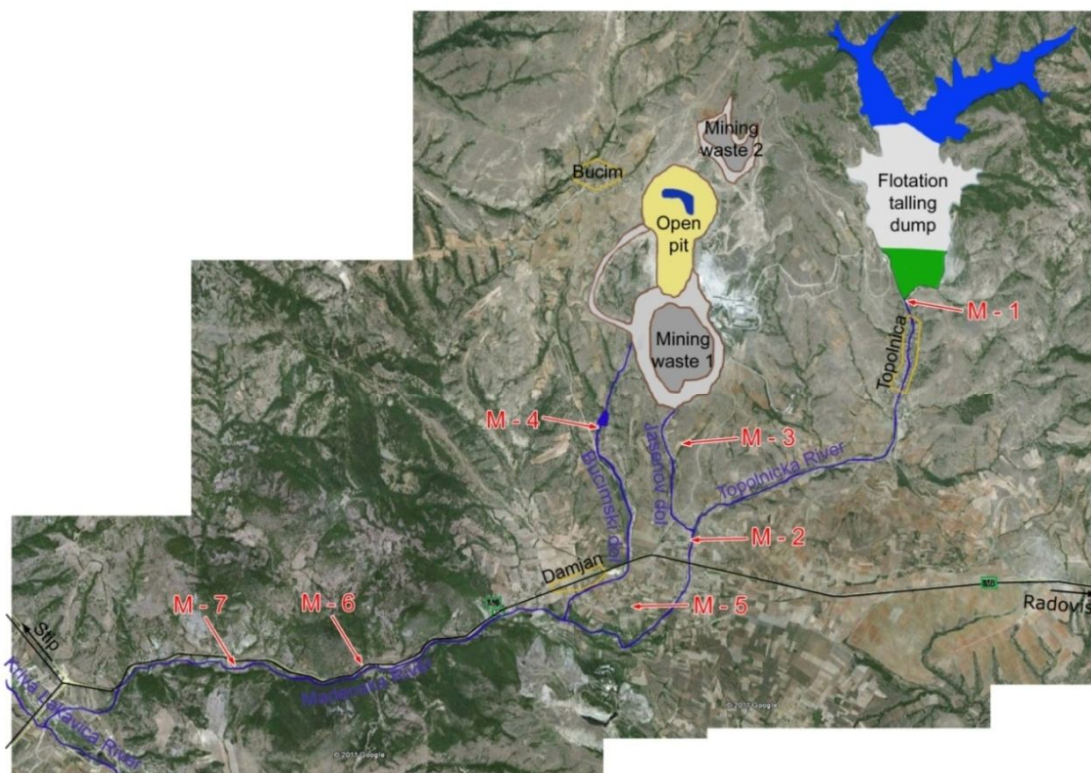


Слика 1. Локации на земените примероци од почви од околината на рудникот и флотацијата Бучим.

Figure 1. Locations of the samples taken from soils from the surrounding of the mine and the flotation Bucim.

▪ **Опробување на површински и подземни води**

Со цел да се следи влијанието на работата на рудникот Бучим на површинските и подземните води, како реципиент на отпадните води од рудникот, ДПТУ Бучим врши редовен мониторинг на квалитетот на овие води. Мониторингот се базира на месечно земање примероци на површински проточни води од 6 локации (М – 1 Колектор од хидројаловиште – с. Тополница; М – 2 Тополничка Река пред мостот на патот Штип – Радовиш; М – 3 Бучимско Езеро, истек од брана; М – 4 површинска вода од коп, Јасенов Дол; М – 6 Маденска Река кај Пилав Тепе и М – 7 Маденска Река на патот за Ново Село) и примероци на подземна вода од 1 локација (М – 5 бунарска вода, пумпна станица на рудникот Бучим) (слика2). При изработката на овој магистерски труд беа опфатени месечни извештаи од хемиски и геохемиски испитувања на мостри од проточна и бунарска вода од околината на рудникот Бучим Радовиш, во период од 3 години 2008, 2009, 2010 година и истиот ќе биде подетално разгледан.



Слика 2. Локации на земање примероци од површински и подземни води во сливно подрачја на р.Тополница и р. Маденска.

Figure 2. Locations of the samples taken from surface and underground waters in the confluence areas of the r. Topolnica and r. Madenska.

Во разни прирачници и публикации се среќаваат поединости за постапките за опробување на водата, за нејзината подготовка и анализа (на пр. Ficklin and Mosier 1999; Appelo and Postma 1999). Мострите од проточна и бунарска вода се земени користејќи медицински шприц. Потоа водата се префрла во стерилни пластични шишиња со зафатнина од 2l низ 45 μm филтер хартија. Пред да бидат шишињата цврсто затворени, тие се закиселуваат со 0,4 ml на 50% азотна киселина. На самото место на опробување се одредува рН и температурата на водата, а во одредени случаи се извршени мерења на протокот на водата.

▪ Опробување на примероци од растителни форми и техногена почва

Примероците од растенија не беа собрани систематски. Наместо тоа, локациите на опробување се определени во согласност со модел кој претставува збир на локации во областа на рудникот Бучим. Земени се одбрани примероци од млади гранки и корени од багреми (лат. *Robinia Pseudoacacia*) кои се употребуваат во процесот на рекултивација на браната на флотациското хидројаловиште Тополница (B1, B2, B3) и на отворениот склад на руда (B4). Исто така во

оваа фаза од испитувањата се земени и алги од Бучимското Езеро и од неговиот истек (A1). Во испитуваното подрачје локациите на земените примероци млади гранки и корени од багрем и агли се претставени на слика 3. Собирањето на овие примероци е извршено на 24. 09. 2011 година.



Слика 3. Локации на земање растителни примероци и примероци од техногена почва.
Figure 3. Locations of taking vegetative samples and samples from technogene soil.

Земањето на примероци на растенија претставува една од најзначајните мерки. Од тоа како е земен примерокот од растенија во голема мера зависи и веродостојноста на резултатите од анализата. На секоја локација одредена за земање на примерок од корен и стебло од багрем се собираа просечни обрасци кои се состојат од повеќе поединечни примероци (20 – 25). Бидејќи кореновиот систем на растителните видови достигнува голема длабочина, примероците од коренот не се земани како целина на кореновиот систем, но само од плитките делови (до 30 – 40 cm). Поради тоа, примероците од корен не претставуваат целина на кореновиот систем. Примероците се пакувани во хартиени кеси. Откако ќе се исчистат од земја и други растителни видови, поединечните растителни тела од примероците се издвојуваат и се оставаат да се

сушат на воздух неколку дена. По сушењето повторно се ставаат во хартиени ќеси се до нивното анализирање.

На долг рок таложењето на флотациската јаловина доведува до создавање на флотациски почви. Флотациските почви се техногени почви кои се формираат со таложење на отпадните материјали од страна на водата (Trendafilov et al. 2010). Примероците од техногена почва од флотациското хидројаловиште (BJ1, BJ2, BJ3) и отворениот склад за руда (BR4) (слика 3) беа земени на 30 – 40 cm длабочина во непосредна околина на корењата од испитуваните растенија за да се дефинира биодостапноста на одредени форми на елементи и трансфер факторот (TF). Примероците од техногена почва не беа просејувани, како што е опишано во некои истражувачки геохемиски студии, за да се предадат полесно естрахирачки фракции. За проучување на апсорпцијата на металите просејувањето за почвените примероци не е потребно затоа што од екстремно корозивната (разорана) средина во близина на коренот, растението може да излучи минерални материи не само од лесно заменливите форми туку и од силикатите (Sagiroglu et al. 2005).

4.2. Лабораториски активности

Следен чекор по изведувањето на теренските активности беа лабораториските активности, во кои примероците кои беа земени за потребите на овој магистерски труд, со цел да се добијат што поверодостојни резултати, претходно се подготвени со големо внимание, а потоа и обработени, за да можат понатаму успешно да се употребат, но и да ги задоволат потребите на неопходните анализирања и истражувања.

Земените репрезентативни примероци од почви, од води и од растенија беа подготвени на следниот начин:

- Подготовката на земените примероци од почва, од техногена почва и од растителни обрасци се состоеше од нивно претходно чистење, сушење, ситнење и разложување. Разложувањето на растителните примероци за одредување на елементите од интерес е извршено со смеса од водороден пероксид и азотна киселина. За таа цел се мери 5,00 g од лабораторискиот субпримерок во чаша. Примерокот се навлажнува со 5 mg HNO_3 , а потоа со бавно и постојано мешање, при што се внимава да не дојде до испрскување, се додава 5 mg H_2O_2 . Чашата се покрива со саатно стакло и се остава на

собна температура додека не престане бурната реакција, а потоа се загрева до влажни соли. Постапката се повторува на ист начин уште двапати со истиот волумен од дадените реагенси. После третото додавање се додаваат 5 mL HNO_3 , и се собира добиениот раствор во одмерена колба од 100 mL, со филтрирање низ филтер хартија со бела лента. Добиениот раствор се користи за понатамошно одредување на елементите од интерес (Rodushkin et al., 1999).

Примероците од почва и примероците од техногена почва беа разложувани исто така со примена на смеси од киселини. Разложувањето беше вршено по следната постапка: точно измерена маса (0,5 g) со точност од 0,0001 g, се ставаат во тефлонски садови. Потоа се додаваат 5 ml концентрирана HNO_3 и пробата се загрева на решо се до испарување на кафеави пареи од азотни оксиди. Се додека се ослободуваат кафеавите пареи, се додаваат нови количини азотна киселина како најпогоден оксидатор за разложување на примероци од животната средина. Потоа се додаваат 5 – 10 ml концентрирана флуороводородна киселина (HF) за целосно разложување на неорганските компоненти. При работа со HF потребно е нејзино целосно испарување. Кога растворот целосно ќе се избистри, се додаваат 2 ml концентрирана HClO_4 . Перхлорната киселина ги разложува заостанатите органски материи. Тефлонските садови се оставаат уште 15 минути на решо, потоа се додаваат 2 ml HCl и 5ml H_2O за целосно растворање. По целосното разложување растворот од тефлонските садови се филтрира во мерни колби од 50 ml, кои се дополнуваат со дестилирана вода до ознаката (Hoepig 2001).

Вака разложените примероци од почва, од техногена почва, од корен и млади гранки од багрем и од алги беа анализирани со примена на атомски асорпциони и емисиони спектрометарски методи.

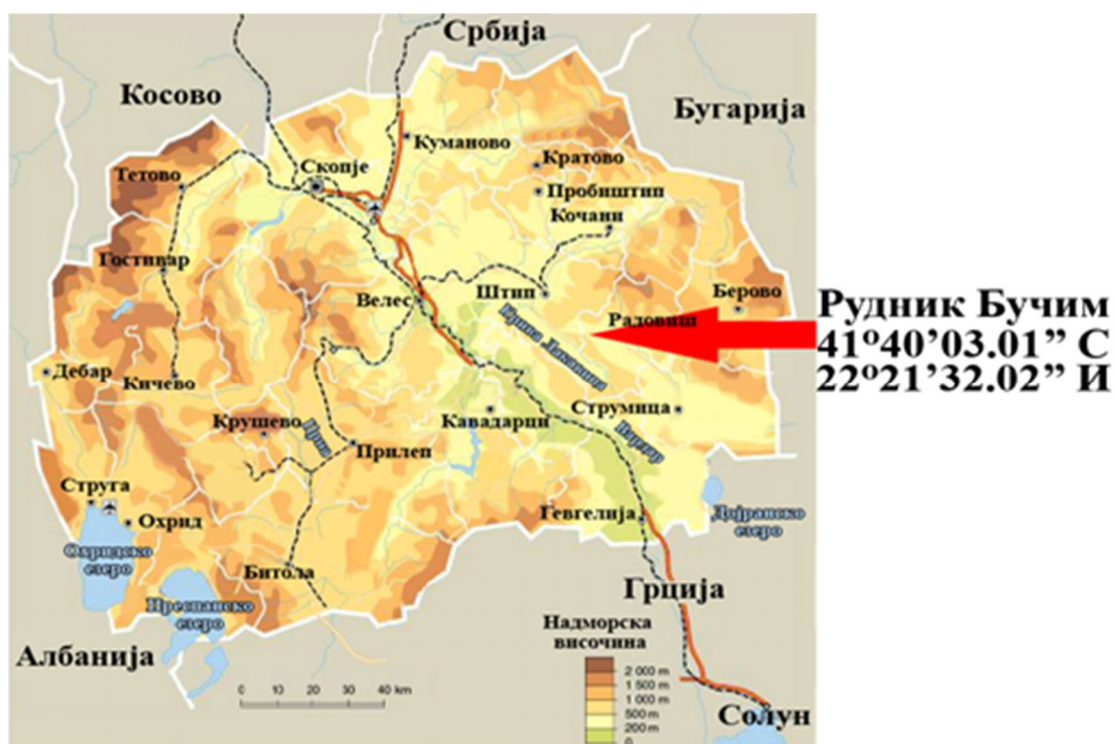
- Пробите од површински и подземни води после нивното опробување не подлежат на дополнителна подготовка пред анализата. Параметрите кои редовно се следат со овој мониторинг вклучуваат: боја, мирис, температура, pH, ХПК, вкупен сув остаток на 105 °C, растворени материи, суспендирани материи, бакар, сребро, амонјак, нитрати, нитрити и вкупни фосфати.

5. ОПШТИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ИСТРАЖУВАНИОТ ПРОСТОР ВО РУДНИКОТ БУЧИМ

Рудникот Бучим територијално и административно припаѓа на општина Радовиш. Од градот Радовиш е оддалечен 14 km, а од Штип 30 km. Комуникациската врска на рудникот е добра. Асфалтен пат во должина од околу 3,5 km го поврзува рудникот со регионалниот пат Велес – Штип – Радовиш. Најблиската железничка станица се наоѓа во Штип. Оддалеченоста од главниот град Скопје изнесува околу 95 km, а од најблиското пристаниште Солун (Р. Грција) 170 km (слика 4).

Рудникот за бакар Бучим се наоѓа во непосредна близина на селото Бучим и лежи на јужните граници на планината Плачковица, на мали висински разлики. Доминантен врв во најблиската околина е Вршник, со надморска височина 720 m, додека 620 m е средната надморска височина на наоѓалиштето.

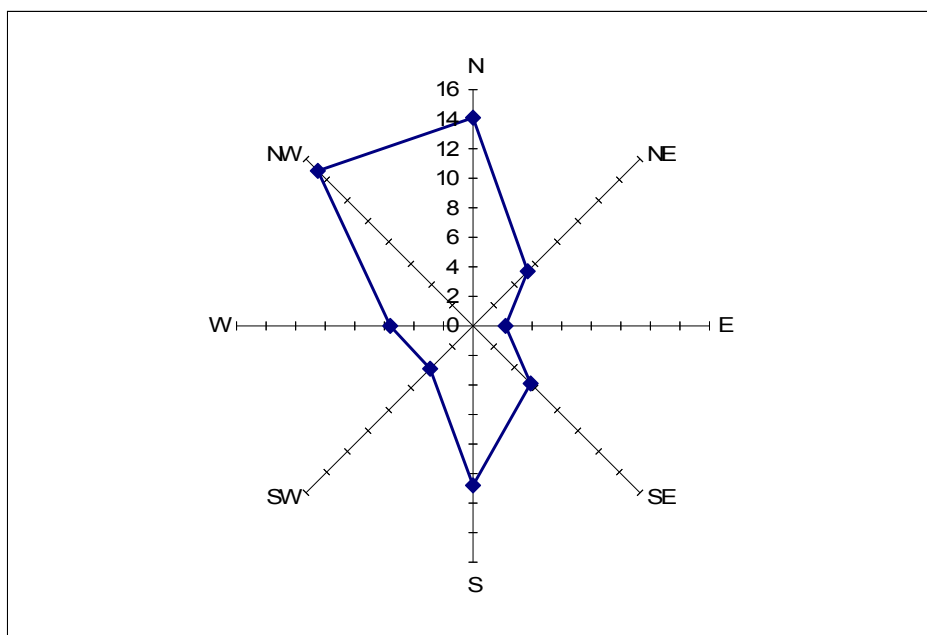
Површината која е опфатена со руднички активности изнесува 7 km², од кои 4 km² отпаѓаат на одлагалиштата на сулфиден руднички отпад и флотациското јаловиште, додека преостанатиот дел се локациите каде што се поставени двата површински копа и постројката за флотациска обработка на руда и постројката за добивање на катоден бакар.



Слика 4. Карта на Република Македонија со означена положа на рудникот Бучим.
Figure 4. Map of the republic of Macedonia with a marked location of the Bucim mine.

Во испитуваното подрачје југозападно од рудникот Бучим на одалеченост од 4 km воздушна линија, се наоѓа поранешниот рудник за железна руда рудникот Дамјан, кој е надвор од функција од 1990 год., но рудничката јаловина е константно изложена на ерозија од влијание на атмосферските врнежи (природно промивање) и од распространување на финиот прав со ветровите.

Регионот на рудникот Бучим се карактеризира со умерено-континентална клима. Просечните годишни температури се околу 12,3 °C. Најтопли месеци во годината се јули и август со просечна температура од 23 °C, а најстуден месец е јануари со 1,2 °C. Просечните годишни врнежи изнесуваат 520 mm со големи варирања од година во година. По месеци врнежите се нерамномерно распоредени во текот на годината. Главниот максимум е во ноември, просечно 64,4 mm, а секундарниот во мај, просечно 53,1 mm, а главниот минимум е во август, просечно 22,6 mm. Во однос на годишниот вкупен број на сончеви часови, на локацијата има околу 6, 4 часови дневно. Најчести се ветровите од северозападен правец со фреквенција од 196 ‰, средна годишна брзина од 3,3 m/s и максимална брзина од 19,0 m/s. Ветровите од северен правец се втори по зачестеност, просечно годишно 175 ‰, средна годишна брзина 4,8 m/s и максимална брзина од 27,0 m/s. Јужниот ветер е трет по зачестеност, просечната годишна зачестеност изнесува 116 ‰, средна брзина 2,5 m/s и максимална брзина од 23,0 m/s (слика 5).



Слика 5. Просечна роза на зачестеност на ветровите во осум правци.
Figure 5. Average rose the frequency of winds in eight directions.

6. ГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА НАОЃАЛИШТЕТО БУЧИМ

Наоѓалиштата претставуваат концентрација на метални или на други минерални добра во земјината кора, а настануваат со различни геолошки дејства (Plumlee, 1999). Во текот на овие дејства наоѓалиштата се здобиваат со специфични геолошки особини, вклучувајќи ги количеството и видот на металот збогатен во лежиштето, видот на минералот што се создава и неговата честична големина, како и видот на карпата што се придружува околу лежиштето. Таквите темелни геолошки аспекти на минералните наслаги предизвикуваат важни и предвидувачки последици врз животната средина (Plumlee, 1999; Seal and Hammarstrom, 2003). Геологијата на наоѓалиштето може да влијае, на пример, врз хемијата на месните подземни и површински води и на почвените својства. Исто така, месните почви, тињата и водите може да бидат природно збогатени со елементи во трага. Ова особено важи во случаи кога елувијалните и ерозивните дејства ги разоткриле металните минерални наслаги и довеле до навлегување на елементите во трага во околната средина. На такви места, почвите, тињата и водите се природно збогатени со метали и со полуметали.

Природната појава на елементите се разликува од еден до друг вид руда и карпа. Некои руди и карпи може да дадат извонредно високи концентрации на метали и на полуметали во почвите, во тињата и во водите. Различни руди и карпи даваат различни елементи.

Така, карпите и рудите, збогатени со конкретен елемент, оставаат еколошки потпис врз приемните води, почви и тиња. Ваквите збогатувања може да имаат дури и штетни последици на блиските и на подалечните екосистеми. Еколошките потписи и последици од минералните наслаги може да настанат и по природен пат. Но тие може да се влошат или да се предизвикаат со несоодветно рударство и одлагање на руднички отпад.

Теренот на кој е спроведено ова истражување тектонски припаѓа на Вардарска зона. Таа е една од поголемите геотектонски единици во Република Македонија. Геолошкиот состав на пошироката околина на истражуваниот терен се состои од карпи со различен литолошки состав и стратиграфија – од прекамбриски формации преку палеозојски – мезозојски и терциерни до плиоценски и холоценски формации. Магматски, седиментни и метаморфни карпи се детерминирани во рамките на истражуваниот терен (слика 6). Магматските карпи се поделени, генерално, на палеозојски и на терциерни магматски

карпи. Седиментните карпи се претставени како квартерни алувијално-делувијални наслаги, плиоценски седименти претставени со чакал и со песочни депозити и со еоценска серија на флиш, додека пак, метаморфните карпи се претставени како прекамбриумски гнајсеви, микашисти и шкрилци (Čifliganec, 1993).

Порфирското наоѓалиште на бакар Бучим ги зазема северните делови од рудниот реон Бучим – Дамјан – Боров Дол, формирано меѓу две големи геотектонски единици Српско – Македонски масив и Вардарската зона.

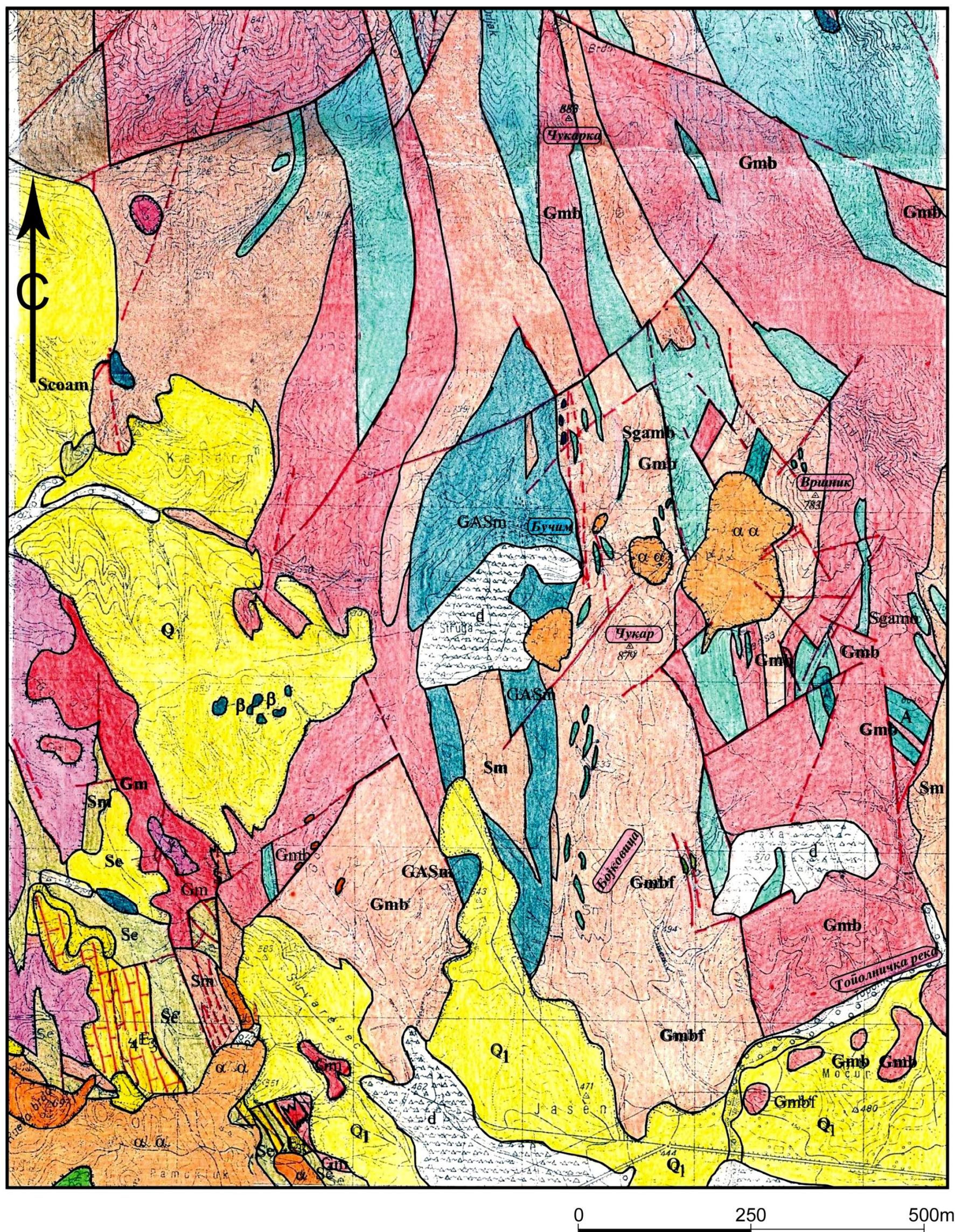
Геолошкиот состав на регионот е сложен, со силно изразена тектоника.

Во геолошката градба на бучимското наоѓалиште учествуваат различни комплекси на карпи. Основата на теренот ја чинат гнајсеви, микашисти и амфиболити на Српско – Македонската маса во кои, во текот на неоген, заради интензивните тектонски движења и вулкански активности, се интродуцирани субвулканско – вулкански дајкови и некови со латитски и андезитски состав.

Најзастапени литолошки членови се гнајсеите кои воедно претставуваат и најповолна литолошка средина за одлагање на рудната минерализација.

Хидротермалните алтерации на околните карпи претставуваат посебно обележје на бучимското наоѓалиште. Како најчест вид измени се серицитизација, каолинизација, хлоритизација и силификација, а како индикатори на порфирската бакарна минерализација се регистрирани калиска метасоматоза и необиотизација (Čifliganec, 1993).

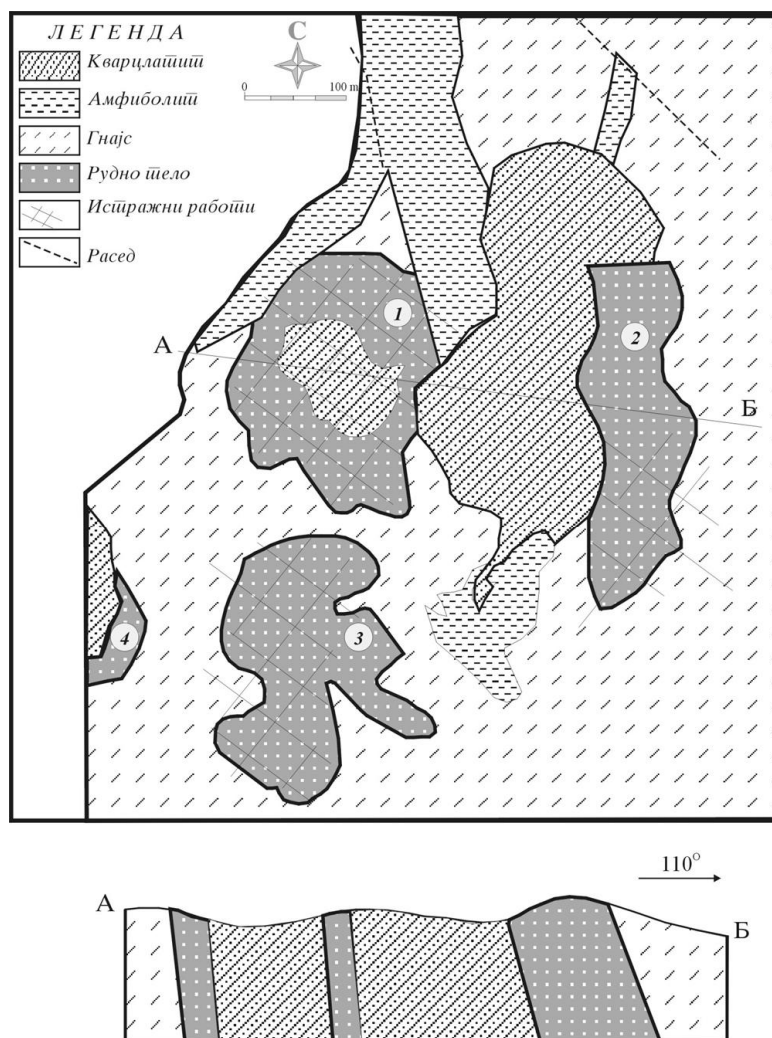
Врз основа на податоците од геолошките истражувања во наоѓалиштето Бучим е утврдена минерализација на бакар и злато од порфирски тип на површина од $1,5 \text{ km}^2$, проследена до длабочина од 300 m. Оваа минерализација се наоѓа околу претходно споменатите субвулкански интрузии, најчесто во гнајсевите. Наоѓалиштето се состои од четири рудни тела: Централен дел, Бунарџик, Вршник и Чукар (слика 7), разместени на површина од околу 10 km^2 (Čifliganec, 1993). Последователноста и динамиката на експлоатација на наоѓалиштето се определени од количеството на корисните компоненти во рудата и формите на нивното појавување. Од тој аспект завршено е со експлоатација на рудното тело Чукар. Во моментот сулфидна руда се вади од Централното рудно тело и од Североисточниот дел од Централното рудно тело, а оксидна руда се вади од рудното тело Вршник. Рудното тело Бунарџик не е во фаза на експлоатација.



Легенда: *d*-Делувијални наслаги; *Q₁*-Грубокластични езерски творби; β -Базалти; α -Андезити; E_3 -Варовници; *Se*-Ултрабазити-серпентинити; *Scoam*-Хлоритско-амфиболски шкрилци; *Sm*-Микашисти; *A*-Амфиболи; *SGamb*-Амфиболско-биотитски шкрилци и гнајсеви; *Gmbf*-Порфиروبластични дволискунски гнајсеви; *Gmb*-Дволискунски мусковитско-биотитски гнајсеви; *Gm*-Мусковитски гнајсеви

Слика 6. Геологија на пошироката проучувана област.

Figure 6. Geology of the widely studied area.



Слика 7. Геолошка карта и профил на наоѓалиштето Бучим (Чифлиганец, 1987; модификувал Тасев, 2003). 1. Рудно тело Централен дел; 2. Рудно тело Вршник; 3. Рудно тело Чукар; 4. Рудно тело Бунарџик.

Figure 7. Geological map and a profile of the deposit Bucim (Cifliganec, 1987; modified by Tasev, 2003). 1. Mine body Central part; 2. Mine body Vrsnik; 3. Mine body Cukar; 4. Mine body Bunardzik.

6.1. Геолошки состав на наоѓалиштето

Геолошката градба на поблиската околина на наоѓалиштето ги опфаќа следните членови (Čifliganec, 1993):

Прекамбриски метаморфен комплекс. Гнајсевите се најраспространети карпи на поширокот и на потесниот дел на наоѓалиштето (слика 8). Според минералниот состав се разликуваат амфиболско – биотитски гнајсеви, дволис-кунски гнајсеви, мусковитски гнајсеви и метасоматски избелени гнајсеви.

Гнајсевите се карактеризираат, најчесто, со зрнеста, порфиробластична, хетеробластична и лепидобластична структура (присутни се лушпести минерали, биотит, мусковит, хлорит и др.) и со окцеста и лентовидна текстура (обично кварц и фелдспати).



Слика 8. Раседна структура во амфиболско - биотитски гнајсеви исполнета со глиновит материјал ($d = 20$ cm), раседот е минерализирана.

Figure 8. Thrust structure in amphiboly – biotic gneisses filled with clay material ($d = 20$ cm), the thrust is mineralized.

Врз основа на бројните микроскопски испитувања, утврдено е дека сите присутни видови гнајсеви дополнително се променети, во зависност од нивната просторна положба. Посебно се претрпени асцедентни промени околу вулканските пробои.

Гнајсевите се составени од фелспати (12 – 70%), кварц (12 – 47%), амфиболи (од траги до 31%), прекристализирано врзиво (од траги до 28%), споредни минерали (0,6 – 3%), други минерали до 4%.

Микашистите, во потесната околина на наоѓалиштето се доста распространети, јавувајќи се во облик на леќи и ленти. Минералниот состав е прилично едноставен. Изградени се од ленти на лискуни кои наизменично се сменуваат со ленти на кварц. Присутни се и гранат и апатит.

Микашистите претставуваат нормален литолошки член во составот на кристалестите шкрилци. Според тоа, имаат иста старост. Неповолна средина се во однос на гнајсевите во поглед на оруднувањето бидејќи слабо се пермеабилни за хидротермалните раствори.

Амфиболитите се во составот на кристалестите шкрилци во облик на леќи или слоеви во поголеми неправилни маси. Генерално го следат протегањето на кристалестите шкрилци, а понекогаш и отстапуваат од нивната фолијација. Се карактеризираат со темнозелена боја и шкрилеста текстура.

Палеозојските магматски карпи се јавуваат во облик на мали леќи по должина на јасно изразените руптури. Досега се констатирани (Čifliganec, 1993):

а) Амфиболитите, кои се ситнозрнести карпи, со ситно лентовидни текстури и претставуваат неповолна средина за сместување на бакарна минерализа-

ција. Изградени се од хорбленда, плагиокласи и делумно од листести агрегати на биотит и хлорит;

б) Серпентинитите се јавуваат јужно од рудното тело Вршник. Имаат мали димензии (до 10 m), а се наоѓаат по должина на една руптурна средина и

в) Ситнозрнестите габрови се компактни карпи од темнозелена до црна боја. Структурата им е ситнозрнеста до порфироидна, што најверојатно станува збор за жични или периферни делови на интрузивниот масив.

Терциерни вулкански карпи. Значајно месото и голема улога во геолошката градба на бучимското наоѓалиште имаат терциерните магматски творби. Се јавуваат во облик на помали маси во прекамбрискиот метаморфен комплекс.

Терциерните магматски карпи одговараат на вулcano – интрузивен комплекс, чиј состав се менува од кварцдиоритски до гранодиоритски. По хемизмот припаѓаат на калко – алкалните и алкалните карпи. Во другите фази магматизмот станува збогатен со калиум.

Терциерните вулкански карпи на проучуваното подрачје, се претставени со субвулкански втиснати магматски тела, чиј минеролошки состав одговара на латити со преминување во андезити и кварцлатити.

Во наоѓалиштето Бучим се воочуваат три андезитски пробои (Централен дел, Бунарџик и Вршник), кои, главно, се јавуваат во форма на дајкови.

Магматската активност во пошироката околина на Бучим е од терциерна старост. Според публикуваните трудови на Иванов (1982), Думурџанов и Иванов (1974), во рамките на терциерниот магматизам, можат да се издвојат повеќе фази (I – V), при што Иванов субвулканските пробои на бучимското наоѓалиште ги вбројува во две фази (Čifliganes, 1993).

Првите анализи на апсолутната старост на споменатите субвулкански пробои покажале геолошка старост од околу 25 милиони години, што одговара на времето помеѓу олигоцен и миоцен. Најновите податоци на апсолутната старост на субвулканските пробои на бучимското наоѓалиште, добиени со современи методи, се совпаѓаат со поранешните податоци. Така, со методата K/Ar утврдената апсолутна старост на пробојот на Централниот дел е 27,5 милиони години, додека на магматскиот пробој на Вршник е одредена старост од 24,9 милиони години. Овие податоци, со резерва, би можеле да бидат основа за да се заклучи дека субвулканскиот пробој на Централниот дел

припаѓа на I фаза, додека Вршник би одговарал на II фаза. Меѓутоа, најновите детални теренски опсервации на отворените етажи на Вршник укажуваат дека магматските пробои се разликуваат по своите минеролошко – хемиски особини, а честопати магматските тела се пресечени со помлади жици – апофизи или паразитски вулкански канали исполнети со вулкански бомби (слика 9), што укажува на повеќефазност и на самиот вршнички магматски комплекс.



Слика 9. Паразитски вулкански канал исполнет со вулкански бомби, со дијаметар од околу 8 – 10 m, сместен во Вршничкиот андезит, Р. Т. Североисточен дел од централното рудно тело Ет. Бл. 630/645.

Figure 9. Parasitical volcano canal filled with volcanic bombs, with a diameter of about 8 – 10 m, placed in the Vrsnicki andesitic, R.T. Northeast part of the Central mine body ET. BL. 630/645.

Врз основа на присуството и количеството на боени состојки, амфиболи, биотит и пироксени, издвоени се повеќе типови вулкански карпи. Според минералниот состав, меѓу вулканските карпи на бучимското наоѓалиште се разликуваат андензити, трахиандензити, латити и кварцлатити.

Пробојот на Бунарџик се вбројува во андензит, додека пробојот на Вршник во латит. Иванов (1982) карпите на вулканскиот комплекс на бучимското наоѓалиште ги издвоил како хорнбленда – биотит андензити, биотитски андензити, санидински андензити, биотитски латити, трахиандензити и др.

Минералниот состав во основата на спомнатите карпи е: плагиокласи, санидин, биотит, хорбленда, а понекогаш многу малку и апатит. Плагиокласите, биотитот и хорблендата се најзастапени состојки. Апатитот и цирконот претставуваат акцесорни состојки.

Од прегледот на хемиските анализи на вулканските карпи на бучимското наоѓалиште се забележува дека тие се одликуваат, речиси, со изедначен хемиски состав, со помали варирања на одделни компоненти.

По своите петрохемиски карактеристики, составот на магматизмот, кој ги дал спомнатите карпи, се менува од кварцдиоритска преку гранодиоритска до адемелитска магла, при што магмите, кои ги дале субвулканските карпи на бучимското наоѓалиште, имаат повеќе монзонитско – адемелитски состав, отколку гранодиоритски состав.

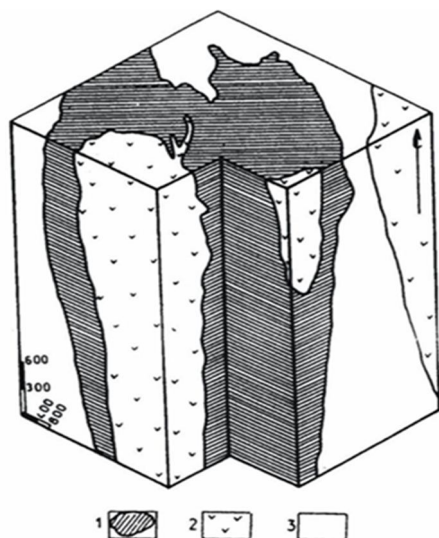
6.2. Морфоструктурна класификација на рудните тела

Морфоструктурната класификација на порфирските наоѓалишта на бакар, како и кај другите наоѓалишта, претставува геометрија на појавување со земање во предвид на структурните фирми.

Во бучимското наоѓалиште морфоструктурната анализа опфаќа изучување на морфолошките облици на рудните тела Централен дел, Североисточен дел од Централното рудно тело, Вршник, Чукар и Бунарџик.

Рудно тело Централен дел. Рудното тело Централен дел може да се вброи во групата на таканаречени „комфорни рудни тела“ т.е. рудни тела кои по обликот и ограничените површини ги следат порфирските интрузии.

Рудното тело Централен дел е комфортно на пробојот (штокот), речиси изометрично во план и има облик на прстен кој има пречник од околу 600 m (вклучувајќи го и латитскиот шток) со вертикален интервал на орудувањето од преку 250 m (слика10).



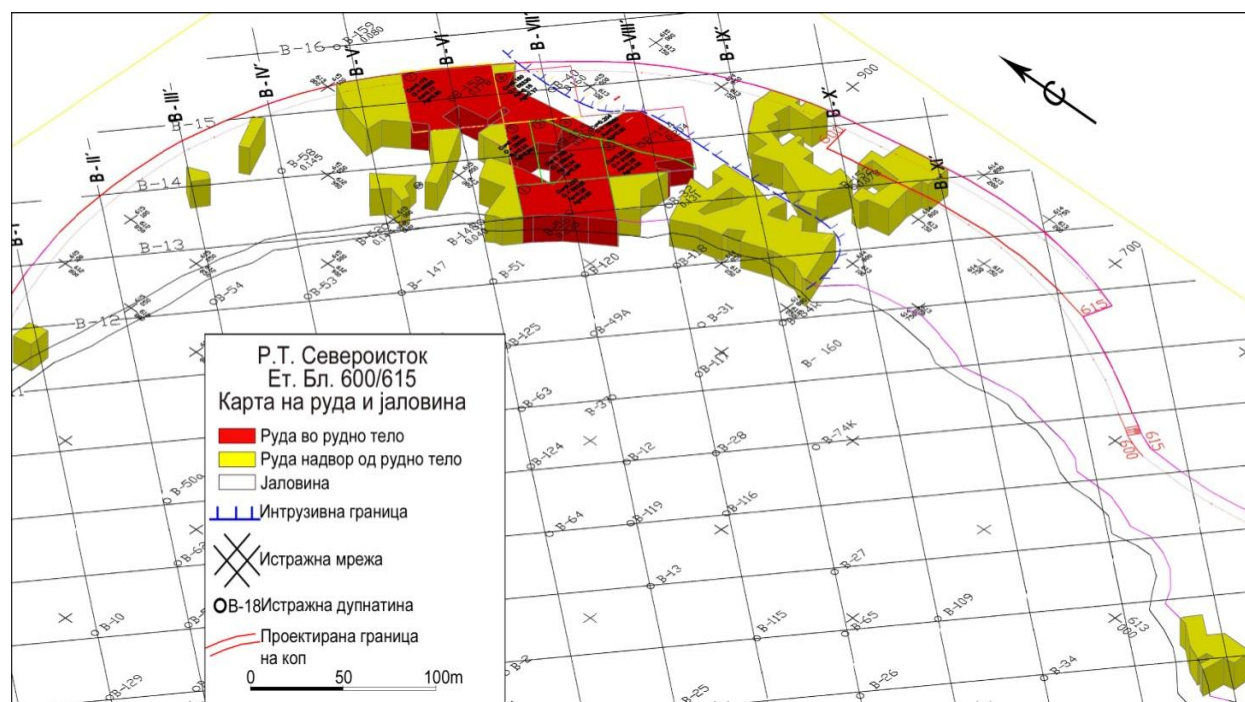
Слика 10. Блок дијаграм на рудното тело Централен Дел (Тодоровски, 1995).

1. Бакарно орудување; 2. Латит; 3. Гнајс.

Figure 10. Block diagram of the mine body Central Part (Todorovski, 1995).
1. Copper ore creation; 2. Latite; 3. Gneiss.

Рудно тело Североисточен дел од централното рудно тело. Како дел од Централното рудно тело, ова рудно тело може да се издвои и како посебно со свои одредени карактеристики. Ова рудно тело, исто така, може да се вброи во групата на „комфорни рудни тела“.

Рудното тело е комфортно на пробојот (Вршнички андезит) во западниот дел од контактот на вршничкиот андезит со околниот гнајс, каде во моментот се експлатира (слика 11), а истото треба да се доистражи и додефинира.



Слика 11. 3Д модел на Р. Т. Североисток, Ет. Бл. 600/615, каде на обликот на рудното тело главно влијае положбата на вршничкиот андезитски пробој, оруднувањето е лоцирано во гнајсевите и вршничкиот андезит.

Figure 11. 3D model of R. T. Northeast, Et. BL. 600/615, where the shape of the mine body is mainly influenced by the location of the Vrsnik andesitic opening, the ore creation is located in the gneisses and the Vrsnik andesitic.

Рудно тело Бунарџик. Рудното тело Бунарџик исто така може да се вброи во групата на „комфорни рудни тела“.

На морфолошкиот облик на рудното тело Бунарџик претежно влијае положбата на андезитскиот пробој, средината во која оруднувањето е депонирано (гнајсеви) и структурно текстурните карактеристики на таа средина.

Обликот на рудното тело Бунарџик се јавува во план во вид на потковица околу јужниот дел на андезитскиот пробој, сместен во гнајсеви (слика 7). Размерите на рудното тело, во план, во горните делови на наоѓалиштето се околу 300 x 100 m, додека во вертикално простирање е околу 300 m (на апсолутна висина 600 – 300 m).

Рудно тело Вршник. За разлика од рудното тело Централен дел и Бунарџик, чие оруднување е депонирано во гнајсеви, рудното тело Вршник се карактеризира со оруднување претежно депонирано во субвулканските интрузии (андезит), а со еден дел во гнајс (слика 7).

Тргувајќи од начинот на просторното сместување (заемна положба во андезитот), рудното тело Вршник, генерално гледано, можеме да го вброиме во „дискомформни рудни тела“.

Рудното тело Вршник се простира во вертикален интервал околу 80 m (на апсолутна висина 680 – 600 m). Неговата подолга оска е во правец С – Ј (должина 300m), додека ширината на рудното тело се движи до 200 m. Дадените параметри укажуваат за рудно тело со многу мали размери.

Рудно тело Чукар. Рудното тело Чукар се состои претежно од секундарно орудување, депонирано во гнајсеви.

Морфолошкиот облик на рудното тело Чукар е во директна зависност од правците на движење на десцедентните раствори, кои ја зафатиле примарната рудна минерализација, и структурно–текстурните карактеристики на средината каде што е извршено депонирањето.

Обликот на рудното тело одговара на лека со генерален правец на протегање север – југ. Моќноста на денес сочуваната, цементациона рудоносна зона не поминува 60 m (апсолутна висина на секундарно орудување 654 – 585 m). Должината на рудното тело е 400 m, а ширината 200 m (слика 7).

6.3. Минерален состав на рудата

Врз основа на спроведените комплексни испитувања за утврдување и дефинирање на минералните видови во рудното лежиште Бучим утврдени се повеќе рудни и нерудни минерали. Минералниот состав на рудата во рудните тела не се разликува битно, но постојат извесни специфичности на минералните парагенези и нивниот минерален состав во оделни рудни тела:

Рудно тело Централен Дел е најзначајното рудно тело на наоѓалиштето Бучим, во него е содржано близу 70% од вкупната минерализирана маса. Врз основа на систематските рудномикроскопски испитувања во рудата се идентификувани и констатирани следните минерали: пирит, магнетит, халкопирит, хематит, халкозин, кубанит, борнит, пиротин, рутил, титаномagnetит, илменит, спекуларит, енаргит, самородно злато, галенит, линеит, минерали на злато (телурит – кренерит и калаверит), минерали на сребро (матилдит, стефанит, фрајбергит, сфен, улвоспинел, свалерит, бизмутинит).

Халкопиритот е најчест руден минерал застапен во сите рудни тела и истовремено претставува главен руден минерал од економски аспект. Квантитативно е помалку застапен од пиритот. Развиен е во поединечни дисперзни

зрна ретко агрегати до 0,3 mm распоредени нехомогено во основната маса. Во гнајсевите се јавува во облик на многу нехомогени дифузно-дисперзни инпрегнации, а понекогаш формира и гнездасти и гнездасто-жиличести инпрегнации. Најчесто е концентриран во карпите со изразена силификација. Големината на дисперзните зрна варира од десетина микрони до 0,2 mm, ретко до 0,5 mm, а димензиите на агрегатите ретко достигнуваат големина од 1.0 до 2.0 mm. Најчесто гради испрекинати агрегати, или пак, поголеми поединечни зрна во кварцните жички, чија дебелина варира од 0,5 mm, а понекогаш и до 2 – 3 cm. Импрегнацискиот халкопирит го следат микро-жиличастите и жиличесто-гнездестите концентрации на пирит.

Содржината на халкопиритот во ЦРТ изнесува околу 1%. Хемискиот состав на халкопиритот варира во следниве граници: Cu = 33.2 – 35.2%, Fe = 29.7 – 31.3% и S = 34.3 – 35.9%.

Халкозинот најчесто е застапен како сив халкозин, а се јавува во делот близу до површината. Се јавува по должина на пукнатините и по работ на зрната и фрагментите на пиритот и халкопиритот во форма на тенки микрофилмови, ретко со здебелувања до 0.1 mm. Сето тоа во рудното тело Централен дел е добро маскирано што не е случај со рудното тело Чукар 1 и неговото појавување е екстензивно.

Пиритот претставува најзастапен минерал во рудното тело Централен дел, односно во рудното лежиште Бучим. Зачестено се појавува со променлива процентуална застапеност. Најчесто се јавува во форма на нехомогени разместени импрегнации, во облик на микромлазовити жиличести концентрации, во кристална форма во облик на мономинерални натрупувања и во кварцните жички и жилички заедно со магнетитот и халкопиритот. Дебелината на овие жиличести концентрации е многу променлива, од дел на mm до неколку mm, додека во кварцните жилички до 1 cm, каде најчесто е присутен во форма на разредени жиличесто-мрежесто-млазевити концентрации. Дифузно-дисперзните инпрегнации на пирит во изменетите гнајсеви, најчесто се нехомогени и изградени од поединечни индивидуи или микрогнездести до гнездесто-жиличести агрегати. Притоа често се појавува во жиличести концентрации (и како мономинерални натрупувања и во кварцните жички) заедно со магнетитот и халкопиритот.

Најчеста форма на појавување на пиритот се неправилни разредени индивидуи и идиоморфни зрна. Многу честа е појавата на пиритските индивидуи да имаат во себе бројни (микроскопски) вклопувања на магнетит, хеметит, рутил, други сулфиди како и изменети силикатни минерали.

Во рудното тело Централен дел содржината на пиритот е до 2%, а во површинските делови е зафатен со оксидација.

Врз основа на систематските микроскопски испитувања дополнети со анализи на микросонда е утврдено дека златото и минералите на златото како значајна компонента на бучимското лежиште, а посебно во Централниот дел, се јавува во вид на телуриди и како самородно злато. Идентификувани се минералите калаверит (AuTe_2) и кренерит ((Au,Ag)Te_2) (Čifliganec, 1993).

Телуридите на златото како и самородното злато се појавуваат во различни форми и големини, главно до стоти дел од милиметарот. Најчесто големината на честичките на самородното злато се движи од 10 – 25 микрони во халкопиритот и ретко до 10 микрони во пиритот. Обликот и формите на појавување на минералите на златото се различни - дендритични форми на самородно злато и нивните минерали, табличести облици, кристални форми и разни сунѓерести облици (Čifliganec, 1993).

Генерално гледано, кренеритот, калаверитот како и самородното злато се појавуваат во парагенези со други сулфиди, но и со оксидни и неметалични минерали (Čifliganec, 1993).

Самородното злато, калаверитот и кренеритот се врзани претежно за халкопиритот во кој се вклопени, покажувајќи кристален облик. Самородното злато, во најголем дел, е врзано за халкопиритот, кај кој се јавува во облик на импрегнации во гнајсевите и претежно е во средината на халкопиритските зрна. Самородното злато е констатирано и во пиритот, каде зонарниот пирит го „потиснува“ халкопиритот и од него го „презема“ самородното злато.

Појавата на телуридите на злато главно се локлизирани долж работ на халкопиритските зрна, но и во околниот кварц, кој го „потиснува“ халкопиритот. Дисперзниот халкопирит со самородно злато, проникнува локално во магнетитот, чии концентрации се во тесна врска со големината на халкопиритската концентрација, многу помалку во пиритот и магнетитот (Čifliganec, 1993).

Присуството на минералите на сребро е утврдено со рудно-микроскопските испитувања. Утврдени се повеќе форми на сребро и регистрирани се следните

минерали: матилдит (AgBiS), стефанит – AgSbS_4 и фрайбергит (Cu-Ag-Sb телурит). Покрај овие минерали на среброто, најчесто е застапен телоридот на сребро и злато-кренерит, но и самородното злато во себе содржи извесни концентрации на сребро. Матилдитот и стефанитот понекогаш формираат заеднички агрегати со големина до 1.0 mm. Стефанитот често го потиснува матилдитот така што од него остануваат само реликти.

Извршените испитувања укажуваат дека најголемите концентрации на сребро се врзани во халкопиритот при што истиот халкопирит има и високи содржини на злато.

Рудно тело Чукар. За разлика од другите рудни тела, во РТ Чукар е присутно интензивно супергено (халкозинско-ковелинско оруднување), додека халкопиритот е многу помалку застапен. Главниот фактор кој довел до економски концентрации на бакар е секундарното сулфидно збогатување – цементациона зона, сместена во интензивно-хидротермално (метасоматски) променети – избелени гнајсеви.

Врз основа на рудно микроскопските проучувања во рудното тело Чукар утврдена е слична минерална асоцијација како и во другите рудни тела: пирит, халкозин, ковелин, халкопирит, магнетит, рутил, сфен, леукоксен, хеметит, мартит, железни хидроксида, пиротин, кубанит, свалерит, молибденит, каситерит, злато, борнит, малахит и азурит.

Халкозинот (Cu_2S), според застапеноста и интензитетот на појавување, е доминантен руден минерал во рудното тело Чукар. Се јавува најчесто како производ на замената на халкопиритот во геохемиските процеси во егзогените услови. Во случаите кога халкозинот ги заменува поединечните дисперзирани зрна и агрегати на халкопиритот, процесот редовно оди од работ на зрната кон центарот. Кај поголемите зрна и агрегати до 1 mm на поранешниот халкопирит се уште заостануваат реликтни остатоци на халкопирит.

Халкозинот најчесто се јавува во форма на тенки превлаки-микрофилмови по пукнатините, најчесто по халкопиритот и пиритот, а понекогаш и како самостојни превлаки. Одредувањето на квантитативниот однос на халкозинот и халкопиритот, како со микроскопските така и со теренските опсервации, се оценува како 2:1. Оваа оценка е карактеристична за цементната зона.

Ковелинот (CuS) е застапен екстензивно во споредба со халкозинот, како микрористалест ковелин во цементната зона, создаден на сметка на замена

на халкозинот, главно по работ на зрната. Се јавува во асоцијација на халкозинот, пирит и халкопирит, долж пукнатините на катаклизираните метасоматски изменети гнајсеви.

6.4. Склоп на рудата

Со оглед на значењето што го има склопот на рудата од аспект на проучувањето на генетските услови за создавањето рудни лежишта, тој се користи како збиен израз на продуктот на процесите на образувањето и кристализацијата на минералните агрегати во секое рудно тело, па и во рудните тела на лежиштето Бучим. Воедно склопот – структурата и текстурата претставуваат основен извор на информации за минерализацијата и сукцесијата на создавањето на рудни минерали. Склопот на рудата го сочинуваат структурно-текстурните карактеристики на начинот на појавувањето на рудната и минерализираната маса на рудиштата, што е од извонредно значење за нивното познавање во фазата на експлоатација – екстракција и примената на методологијата во нивната преработка, технологија на користење и искористување.

Текстурни карактеристики. Текстурата на рудата ја одредува просторната и заемна положба и меѓусебниот однос на минералните агрегати и минерали во нивното сврзување во корпусот на рудата.

Најчест застапен тип, на текстура скоро униформно застапена во целото лежиште е дисперзно-импрегнациско, а поретко дисперзно-импрегнациско-жилично-гнездест тип на текстура.

Оруднувањето во РТ Централен дел, од аспект на текстурата покажува поголеми варијации. Покрај најзастапената дифузно-дисперзна-импрегнациска текстура, каде доминира пиритот и халкопиритот во помал обем Fe-оксиди, присутни се други текстурни типови на минерализации, со сите преминувања од дисперзно-импрегнациско-гнездести (халкопирит, Fe-оксиди, пирит) па се до дисперзно-импрегнациско –жилично-гнездасти текстури (халкопирит и пирит).

За пиритот се карактеристични млазевито-жиличасти и компактно-жиличести текстури.

За халкопиритот, воедно за лежиштето Бучим, типична текстура претставува дифузно-импрегнациско-гнездесто-жиличастите концентрации.

Структурни карактеристики на рудата. Меѓу структурите на рудата воочени се алотриоморфно-зрната структура, поретко хипидоморфна и идиоморфно зрната структура.

Познавањето на физичко-хемиските карактеристики на минералите и нивниот хемизам кои се екстрахирани во фазата на освојувањето на минералните ресурси се од пресудно значење за планирање, примена и проектирање на соодветна методологија, оптимални технолошки процеси за нивно целосно и комплексно искористување, како и за еколошка заштита.

6.5. Хемиски состав на рудата

Средната содржина на најважните компоненти на минерализираната маса во избраните рудни тела е прикажана во тебела 3.

Табела 3. Средна содржина на основните компоненти во рудата на избраните рудни тела (Čifliganec, 1993).

Table 3. Medium content of the base components in the ore of the selected mining bodies (Čifliganec, 1993).

Рудно тело Бунарџик/ Ore body Bunardžik		Рудно тело Централен Дел/ Ore body Centralen Del	
SiO_2	54,9%	SiO_2	63,2 %
Al_2O_3	15,02 %	Al_2O_3	13,26 %
Fe_2O_3	6,03 %	Fe_2O_3	1,7 %
FeO	0,86 %	CaO	1,82 %
CaO	2,96 %	$Fe(Vk)$	5,25 %
MgO	2,76 %	Cu	0,304%
Ti	1,30 %	Au	0,6 g/t
Mn	0,05 %	Ag	1,1 g/t
Au	0,33 g/t	Mo	0,0013%
Ag	1,2 g/t	S	1,05%
S	0,65 %		
Cu	0,27 %		
Fe_3O_4	2,53 %		

Бакар. Минерализацијата на бакарот се јавува во андензити и гнајсеви.

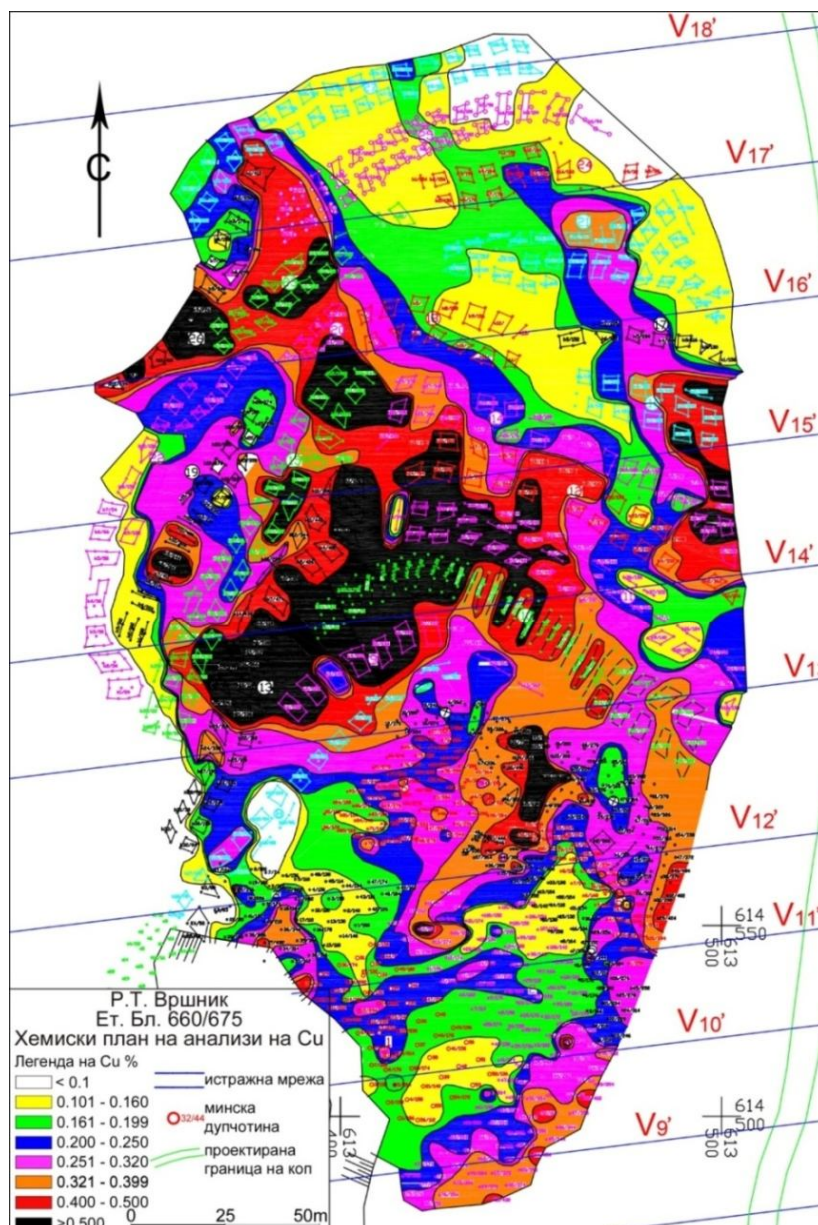
Андензити: содржината на бакар во минерализираните магматски карпи е главно ниска најчесто од 0,02 до 0,2 %, само исклучително во еден дел на андензитот на Вршник содржината на бакар е повисока (слика 12). Содржината на бакар е многу невоједначена во андензитите, особено во вршничкиот андезит зафатен со експлоатација со рудно тело Вршник и рудно тело Североисточен дел од централното рудно тело (слики 13).

Гнајсеви: содржината на бакар во минерализираните гнајсеви е значително поголема отколку во андензитите бидејќи во гнајсот се наоѓаат рудните тела, кои се од економско значење. На сликите 14 и 15 е прикажан карактерот на дистрибуцијата на бакарот во одделни рудни тела.

Златото е многу значајна компонента на рудните тела, посебно за рудното тело Централен дел бидејќи неговата вредност во рудата е блиска на вредноста на бакарот (Čifliganec, 1993).

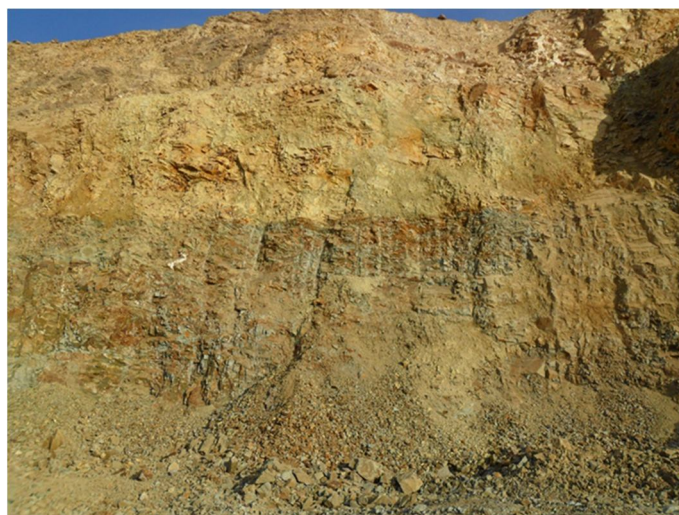
Андензити: минерализираните андензити имаат многу ниска содржина на злато, освен во рудното тело Централен дел.

Гнајсеви: содржината на златото во минерализираните гнајсеви е во прилична мера поголема отколку во магматските карпи. Особено зголемени концентрации на злато се присутни во рудното тело Централен дел.



Слика 12. Хемиска карта на дистрибуција на Си во Вршничкиот андезит, каде содржината на бакар во оксидационо – цементната зона поминува 1 %, оваа оксидна руда се складира на куп за лужење.

Figure 12. Chemical map of distribution of Cu in Vrsnik andesitic, where the content of copper in the oxidation – cementation zone passes 1 %, this oxide ore is stored on a pile for leaching.



Слика 13. Свеж вршнички андезит каде содржината на бакар е помала од 0,02 %, РТ Североисточен дел од Централното рудно тело, Ет. Бл. 630/645 (лево). Оксидационо – цементна зона во вршничкиот андезит каде содржината на бакар е околу 0,5%, андезитот е интензивно испукан и раздробен, Р.Т. Вршник, Ет. Бл. 660/675 (десно).

Figure 13. Raw vrsnik andesite where the content of copper is smaller than 0.02%, R. T. Northeast part of the central ore body, Et. BL. 630/645 (left). Oxidation – cementation area in the vrsnik andesite where the contents of copper is around 0.5 %, the andesite is intensely cracked and crumbled, R.T. Vrsnik, Et. BL. 660/675 (right).

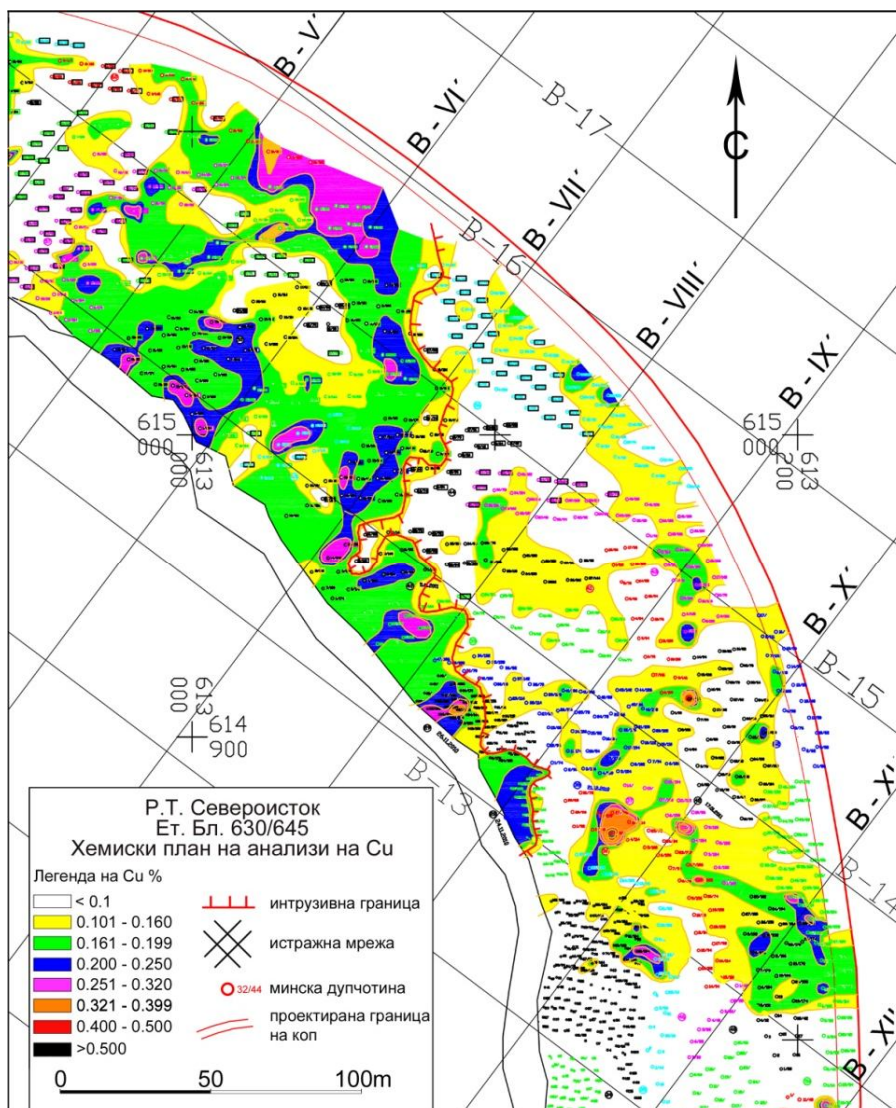
Латерална распределба на бакар и златото во наоѓалиштето. Анализирајќи ги детално сите податоци за концентрацијата на бакарот и златото, јасно се забележува одредена закономерност на појавувањето во просторот. Оваа појава пред се зависи од литолошката средина, оддалеченоста од андезитскиот пробој, присутните фации на алтерации, структурата на наоѓалиштето и други поединости кои влијаат помалку или повеќе на интензитетот на концентрацијата на бакарот и златото во наоѓалиштето.

Бакарот и златото се особено збогатени во околните гнајсеви, непосредно околу андезитскиот пробој на рудното тело Централен дел и рудното тело Североисток.

Од сликите 14 и 15 јасно се забележува различност во интензитетите на концентрацијата на бакарот во гнајсевите на рудното тело Централен дел и рудното тело Североисток, во зависност од оддалеченоста од андезитскиот пробој.

Распределбата на златото во наоѓалиштето е карактеристичен белег на наоѓалиштето. Распределбата и степенот на концентрацијата на златото покажува одредена правилност во појавувањето. Појдовна основа за презентирање на карактерот на просторната распределба на златото во наоѓалиштето Бучим

претставуваат досегашните податоци од геолошките истражувања, пред се, во текот на експлоатацијата на рудното тело Централен дел.

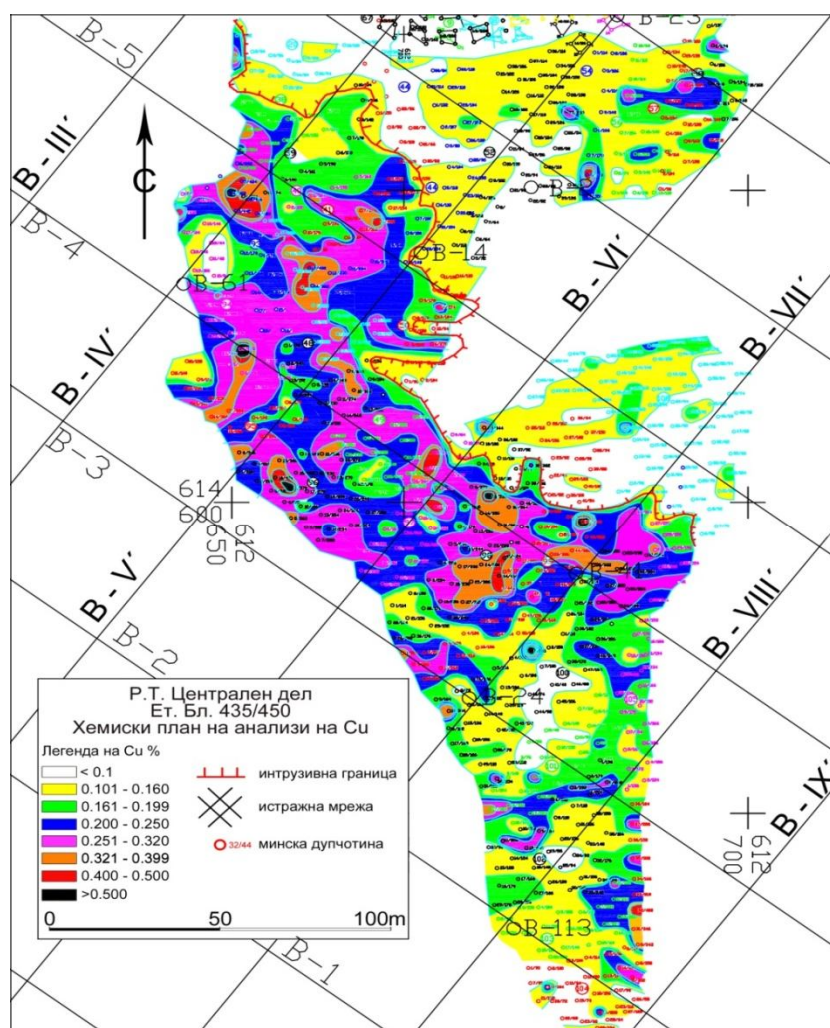


Слика 14. Хемиска карта на дистрибуција на Си, каде се забележуваат зголемени концентрации на Си и во западниот дел на Вршничкиот андезитски пробој.

Figure 14. Chemical cart of distribution of Cu, where increased concentrations of Cu are noted and in the west Vrsnik andesitic breach.

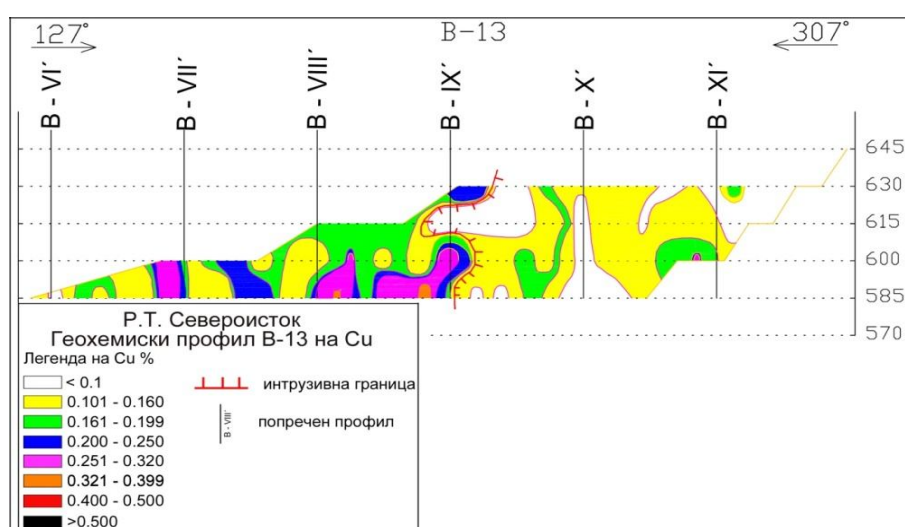
Во текот на експлоатацијата на рудното тело Централен дел и рудното тело Североисток, се потврдува дека содржината на бакарот и злато расте со приближувањето кон андезитскиот пробој (слика 16). Содржината на бакарот и златото е значително повисока во овие делови на рудното тело, во однос на средната содржина во останатите делови на истото (Си 0.250 – 0.300 %; Ау 0.25 - 0,42 g/t).

Од досегашните сознанија може да се забележи дека постои извесен линарен тренд на опаѓање на златото по длабочина на наоѓалиштето под нивото 510 m.



Слика 15. Хемиска карта на дистрибуција на Си, каде се гледа дека содржината на бакарот расте со приближувањето кон андезитскиот пробој.

Figure 15. Chemical cart of distribution of Cu, where it is seen that the contents of the copper is growing with the approaching to the andesitic breach.



Слика 16. Хемиски профил на дистрибуција на Cu , на кој јасно се гледа интрузивната граница помеѓу вршничкиот андезит и околниот гнајс.

Figure 16. Chemical profile of distribution of Cu, on which is clearly seen the intrusive boundary between the vrsnik andesite and the surrounding gneiss.

7. ДЕФИНИРАЊЕ НА ТЕХНОЛОШКИОТ ПРОЦЕС И РУДНИЧКИОТ ОТПАД ВО РУДНИКОТ БУЧИМ

Дефинициите се од суштествена важност за јасна комуникација, особено кога се разговара за технички прашања. Во текстот што следува јасно се дефинирани сите потенцијални влијанија од функционирањето на технолошкиот процес на подготовка и концентрација на сулфидната бакарна руда и лужењето на оксидната руда како и влијанието на развојот на рудникот врз дефинираното подрачје.

7.1. Профил на рудникот Бучим

Рудникот за Cu и Au, Бучим е единствен рудник во Р. Македонија што припаѓа на српско – македонската металогена област (сл. 17), откриен во 1955 год., а истражуван во периодот од 1962 до 1979 год. Со производство започнува во 1979 г. кога функционира како претпријатие во државна сопственост. Со таков статус рудникот работи до 2001 год. кога е продаден на странска компанија во Македонија регистрирана под името Semcorp, која во 2003 год. банкротира, а постројката престанува со работа. Во периодот од 1979 до 2005 год., вкупното производство на преработената руда изнесува 67.691.103 t.



Слика17. Рудник за бакар Бучим.

Figure 17. Copper mine Bucim.

Од средината на 2005 година рудникот почнува со повторни активности на експлоатација и преработка на бакарна руда во рамките на приватната компанија ДПТУ „Бучим“ Дооел – Радовиш. Компанијата е регистрирана во Р. Македонија со странски капитал.

Моментално во експлоатација се наоѓаат рудните тела: Централно рудно тело кое е во завршна фаза на експлоатација (ниво 420/435), Североисточен дел од централното рудно тело и Вршник од каде се експатира оксидна руда за лужење. Рудното тело Чукар е целосно експлатирано, а во блиска иднина се планира со активна експлоатација да се започне и на рудното тело Бунарџик, иако во моментот на тоа рудно тело нема никакви активности и не е заверен рударски проект.

Во периодот од повторното рестартирање до денес годишно се произведува околу 4 милиони тони сулфидна руда и околу 4 милиони тони јаловина. Од ова количество на сулфидна руда се добива бакарен концентрат кој изнесува 35.000 – 40.000 t. Од овој бакарен концентрат се добиваат 7.200 - 7.400 t Cu и 400 – 500 kg Au.

Во почетокот на 2012 година во рудникот Бучим започна со работа и фабриката за лужење и производство на катоден бакар. Во моментот во Бучим се спроведува постапката на лужење на куп. Лужењето на бакарни руди се врши на две одлагалишта: 1) постојното, т.н. основно одлагалиште, и 2) одлагалиште за оксидна руда од Р.Т. Вршник, лоцирано до основното одлагалиште. Комплексот ќе произведува до 2800 t бакар на година. Производствениот режим е 365 дена во годината.

Се претпоставува дека рударските активности на претходно споменатите рудни тела во кои се потврдени околу 40.000.000 t рудни резерви треба да завршат во 2020 година, односно во временски период од 8 до 10 години, ако откопувањето се врши со просечен годишен капацитет од 4.000.000 t, иако има индикации за зголемување на рудните резерви и продолжување на векот за експлоатација.

7.2. Рударски работи

Рударските активности во рудникот Бучим ги вклучуваат следниве работи: откопување, подготовка на минералните сировини и, од неодамна, хидрометалуршка преработка.

Откопувањето е првата работа во комерцијалната експлоатација на минералните и на енергетските сировини. Се дефинира како вадење материјал од земјата заради искористување еден, или повеќе составни делови од така извадениот материјал. Експлоатацијата на бакарната сулфидна и оксидна руда од рудникот Бучим се остварува преку отворање на површински копови. Првиот

процес на експлоатацијата е откопувањето. Во понатамошниот процес сулфидната рудата со помош на дамperi се носи до примарно дробење, а оксидната руда до одлагалиштето за лужење, додека јаловината се носи на одлагалиштата на рудничка јаловина.

Подготовката на минералните сировини, или облагородување има цел физички да го издвои и да го окрупни рудниот материјал. На самото рударско работилиште рударењето секогаш се поврзува со подготовка на минералната сировина на некој начин (на пр. дробење, мелење, гравитациско, магнетско или електростатичко одвојување, флотација). При подготовката на минералните сировини во рамките на рудникот Бучим се користат флотациските методи за концентрација.

Во рамките на рудникот Бучим од неодамна се одвива и хидрометалуршкото вадење на бакар (лужење во куп).

Сите три клучни работи во рудникот Бучим, откопувањето, подготовката на минералната сировина и хидрометалуршката преработка, создаваат отпад. Рудничкиот отпад овде се дефинира како цврст, течен или гасовит нуспроизвод од постапките на откопување, подготовка и на хидрометалуршката преработка на минералната сировина. Тој е непожелен, нема тековна економска вредност и се натрупува во рударското работилиште (Lottermoser, 2007).

7.3. Метали, руди и индустриски минерали

Многубројни руднички отпадоци, особено тие што настануваат во металното рударско стопанство, содржат метали и/или полуметали во зголемени концентрации (Lottermoser, 2007). Во литературата доаѓа до забуна при користење на поимите метал, металоид, полуметал, тежок метал и базен метал. Металите се дефинираат како елементи што имаат особени хемиски и физички својства (на пр. елементи со способност да ослободат еден, или повеќе електрони; со способност да спроведуваат топлина и електрицитет). Наспроти нив, металоидите, или полуметалите се елементи што покажуваат и метални и неметални својства; такви се: арсенот, антимонот, бизмутот, селенот и телурот (на пр. елементи со способност да примат еден или повеќе електрони; со помала способност од металите да спроведат топлина и струја) (Lottermoser, 2007). Тешки метали се оние чија густина надминува 6 g cm^{-3} (т.е. Fe, Cu, Pb, Zn, Sn, Ni, Co, Mo, W, Hg, Cd, In, Tl) (Thornton et al. 1995). Во овој магистерски труд поимот тежок метал се употребува послободно зашто постојат и други,

научно построги дефиниции (Hodson 2004). Базни метали се тие што во индустријата повеќе се користат самостојно отколку во легура со други метали (т.е. Cu, Pb, Zn, Sn).

Во повеќето минерални сировини металите се наоѓаат во хемиска врска со други елементи, создавајќи на тој начин металносни метални руди, како што се оксидите или сулфидите. Металните руди се дефинираат како минерални сировини од кои може да се добијат елементи при разумна исплатливост (Lottermoser, 2007). Наспроти нив, неметалните руди се дефинираат како која било карпа или минерална сировина што поседува економска вредност, а не е метална руда, минерално гориво или скапоцен камен. Минералната сировина или самата карпа, односно соединението добиено од минералната сировина или од карпата, има индустриска употребливост. Металните и неметалните руди на микроскопско или дури на подмикроскопско ниво обично се сраснати со безвредни минерали, т.н. примеси. Спојот од металната или од неметалната руда со минералите примеси се нарекува рудна маса (или само руда). Значи, рудата претставува карпа, почва или наслага што содржи економски исплатливи количества метали, или неметали. Откопувањето претставува вадење на металната/неметалната минерална сировина заедно со минералите примеси. По пат на подготовка, металната/неметалната минерална сировина се збогатува за сметка на отстранување на минералите примеси. Конечно, металуршката преработка ги урива кристалографските врски во минералната сировина и ги отстранува несаканите елементи.

7.4. Руднички отпад

Рударењето (ископувањето), подготовката и хидрометалуршкото извлекување на минералните сировини во рудникот Бучим создаваат цврсти, течни и гасовити отпадоци. Оттука, рудничкиот отпад може да се подели на цврст отпад од ископувањето, од минералната подготовка и од хидрометалуршката преработка, како и руднички води (табела 4):

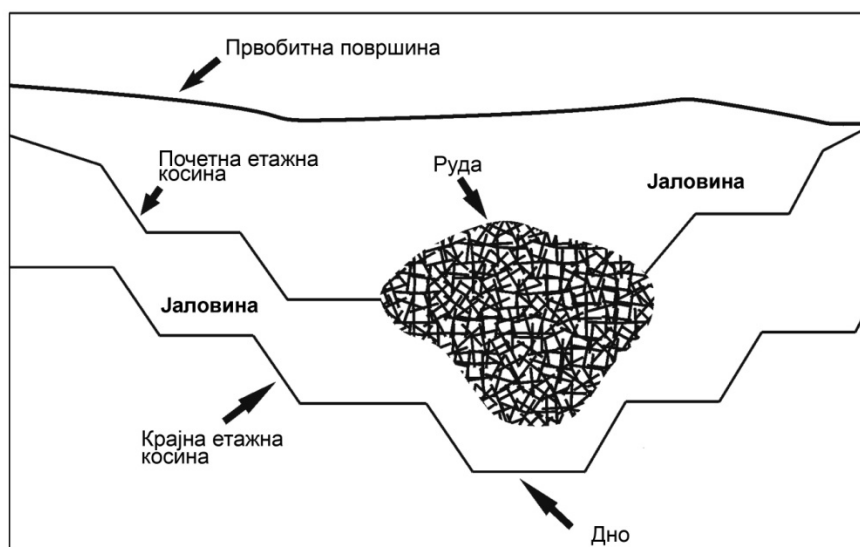
- *Рударски отпад.* Рударскиот отпад во рудникот Бучим или воопшто не содржи метали, или пак, концентрацијата на металите е неекономична. Критериумот за одвојување на отпадната карпа од металносна руда и за класифицирање на материјалите како економични или неекономични е т.н. граничен коефициент на откривка. Тој се засновува на концентрацијата на корисна маса во секоја единица од карпата што се откопува и на

трошокот за откопување на таа единица. Како резултат на тоа, секој рудник има различен критериум за одвојување на рударскиот отпад од рудата (Lottermoser, 2007). Кај рудникот Бучим граничниот коефициент на откривка изнесува 0.15% Cu. Така карпестиот материјал со содржини над оваа вредност на Cu се смета за руда, а под оваа вредност за рударски отпад (рудничка јаловина). Во рударски отпад спаѓаат откривката и отпадната (околна, придружна) карпа, кои се вадат при површинското откопување во рудникот Бучим. Отпадната карпа, во основа, е околната карпа што треба да се отстрани за да се дојде до рудата (сл. 18). Рударскиот отпад во рудникот Бучим претставува разнообразен геолошки материјал и се состои од седиментни, метаморфни и магматски карпи. Како последица на тоа, големината на честичките може да се движи од глинести честички до камени блокови. Физичките и хемиските својства на рударскиот отпад се разликуваат зависно од неговата минералологија и геохемија, од видот на рударската опрема, од големината на откопаните честички, како и од содржината на влага (Lottermoser, 2007). Основен извор за овие материјали се карпите од површинската експлоатација, особено од површинските копови.

Табела 4. Поедноставен приказ на рударските работи со кои минералната сировина се откопува, се подготвува и хидрометалуршки се преработува во рудникот Бучим. Во секој чекор од работењето се создава цврст, гасовит и течен отпад (Lottermoser, 2007).

Table 4. Simplified mining activities whereby a resource is mined, processed and metallurgically treated. Each step of the operation produces solid, gaseous and liquid wastes (Lottermoser, 2007).

Работа што создава руднички отпад/Activity generating the mine waste	Вид руднички отпад/Mine wastes
Откопување со површински коп/Open pit mining	Рударски отпад (на пр. откопна карпа, откривка, откопина, рударска вода, атмосферски емисии)/Mining wastes (e.g. waste rocks, overburden, spoils, mining water, atmospheric emissions)
Подготовка на минералната сировина/Mineral processing	Подготвителен отпад (на пр. јаловина, талози, мелничка вода, атмосферски емисии)/Processing wastes (e.g. tailings, sludges, mill water, atmospheric emissions)
Хидрометалургија/Hydrometallurgy	Металуршки отпад (на пр. излужена руда, технолошка вода, атмосферски емисии)/Metallurgical wastes (e.g. leached ores, process water)



Слика 18. Шематски приказ на површински коп за откопување метал. Отпадната карпа, исто така, мора да се ископа за да се дојде до рудата (Lottermoser, 2007).

Figure 18. Schematic cross-sections of open pit mines for metal mines. Waste rocks have to be mined in order to obtain ore (Lottermoser, 2007).

Откако ќе се откопа металната руда, таа се преработува за да се извлече корисната супстанција. За разлика од неа, рударскиот отпад се остава во големи купови во самото рударско работилиште. Во рудникот Бучим со рударските работи се создава рударски отпад во многу големи количества (слика 19).



Слика 19.

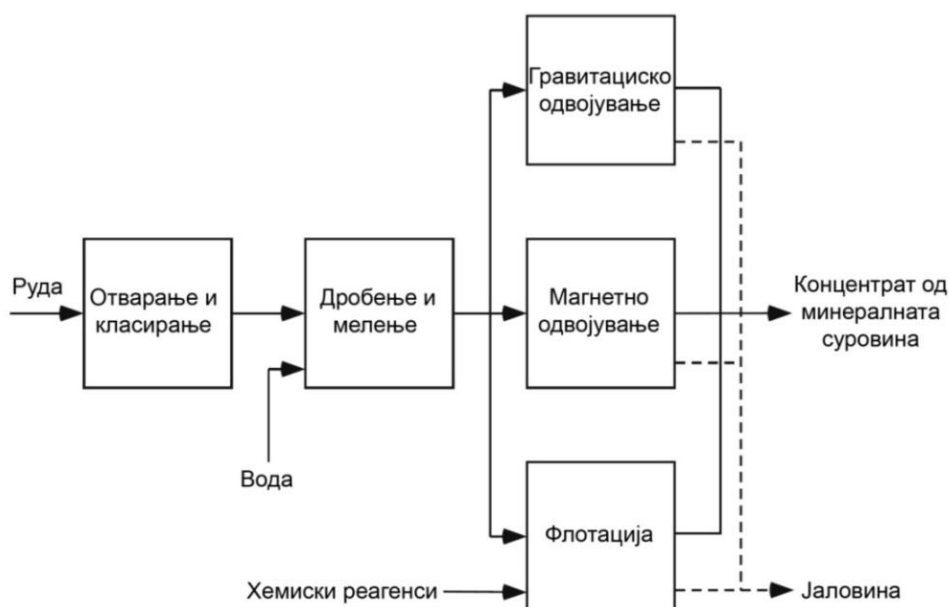
Одлагалиште број 1 во рудникот Бучим каде се складира преку 120 Mt сулфиден руднички отпад.

Figure 19.

Postponement number 1 in the mine of Bucim where over 120 Mt sulfide mine waste material is stored.

- *Подготвителен отпад.* Рудата обично се подготвува физички, во постапката наречена облагородување, или подготвување на минералната сировина пред да се проследи за каква било металуршка преработка (слика 20)

(Lottermoser, 2007). Техниката за минерална подготовка во рудникот Бучим се базира на додавањето на хемиски реагенси во здробената и класирана руда за да се помогне одвојувањето на корисните од примесните минерали во постапката на флотација. Ваквите постапки резултираат со создавање подготвителен отпад. Подготвителниот отпад овде се дефинира како дел од здробената, сомелената, иситнетата, измиената и подготвената суровина, кој се проценува дека е премногу сиромашен за понатаму да се преработува. Според тоа, дефиницијата ги вклучува јаловината, глибот (калта) и отпадните води од подготовката на минерални суровини. Јаловината се дефинира како отпад од подготовка на минералната суровина, кој настанува во мелниците, во погонот за измивање, или во концентраторот каде што се собираат корисните метали.



Слика 20. Поедноставен блок – дијаграм на постапката за подготовка на минералната суровина со која од руда се добиваат руден концентрат и јаловина (според Ripley et al. 1996).

Figure 20. Simplified flow-chart of a mineral processing operation, in which ore is processed to yield an ore mineral concentrate and tailings (after Ripley et al. 1996).

Физичките и хемиските својства на подготвителниот отпад зависат од минералологијата и од геохемијата на подготвуваната суровина, употребената технологија за подготовка, големината на честичките од здробениот материјал и од употребените реагенси. Големината на честичките во подготвителниот отпад може да се движи од колоидна големина до прилично груба големина на чакал (Lottermoser, 2007).

При флотациската концентрација на минералната сировина во рудникот Бучим се добива голема количина на јаловина со значителна количина на вода (на секој тон бакарна руда се троши околу 3 m³ вода, а при испирање на јаловината филтратот содржи: As, Se, Sb, Te, Pb, Zn, Ga, W) која треба да се смести на погодно тло, со што се овозможува заштита од загадување на животната средина, таложење на цврстата фаза од пулпата со истовремено обезбедување на одредена количина на повратна технолошка вода за повторно користење во процесот. Хидројаловиштето кое се состои од песочна брана, таложно езеро, дренажен систем и опрема за евакуација на бистрата вода е објект од големо значење (слика 21).



Слика 21. Песочна јаловинска брана на хидројаловиштето на рудникот Бучим, каде се складирали околу 80 Mt флотациска јаловина.

Figure 21. Sand waste material dam of the flotation tailing dump material of the mine “Bucim”, where around 80 Mt flotation waste material is stored.

- **Металуршки отпад.** Подготовката на минералната сировина создава меѓупроизвод, минерален концентрат, кој понатаму се преработува во металургијата. Металургијата во голема мера се заснова на хидрометалургија (на пр. Au, U, Al, Cu, Zn, Ni, P) и пирометалургијата (на пр. Cu, Zn, Ni, Pb, Sn, Fe), а во помала мера и на електрометалургијата (на пр. Al, Zn) (Ripley et al. 1996; Warhurst 2000). Хидрометалургијата подразбира употреба на растворувачи со чија помош се раствора бараниот елемент. Во рудникот за бакар и злато Бучим лужењето на бакарни руди се врши на две одлагалишта: постојното, т.н. основно одлагалиште, и одлагалиште за оксидна руда, кое е лоцирано до основното одлагалиште. Технологијата којашто ќе се спроведува за добивање на електролитски бакар од наоѓалиште Бучим, се базира врз искористувањето на 0,5%-ен раствор на

сулфурна киселина, наречен раствор за лужење, кој се додава на површината на одлагалиштата. Преминувајќи низ рудата во одлагалиштето, растворот раствора дел од бакарот и истекува од неговиот долен дел. Овој раствор, кој е богат со бакар, е наречен продуктивен и се транспортира во технолошки комплекс за преработка на растворите, каде што понатаму се преработува до добивање на електролитски бакар (слика 22). Наспроти тоа, пирометалургијата се заснова на кршење на кристалната градба на рудата по пат на затоплување, додека пак во електрометалургијата се користи електрицитет. Ваквата хидрометалуршка постапка која се спроведува во рудникот Бучим ја руши хемиската врска меѓу елементите и доведуваат до создавање разновидни отпадни производи, меѓу кои се атмосферските емисии, отпадните води и излужената руда (слика 23).

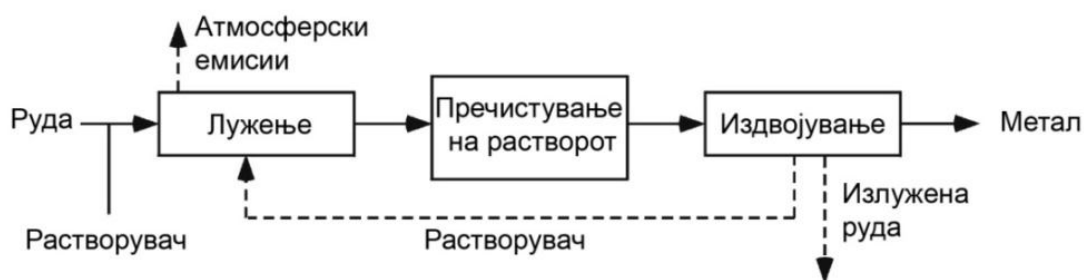


Слика 22. Технолошки комплекс за преработка на растворите богати со бакар, лоциран под одлагалиштето бр. 1 на рудникот Бучим. Фабриката за производство на катоден бакар е во функција од почетокот на 2012 година.

Figure 22. Technological complex for processing of the solution rich copper, located under postponing area no. 1 of the mine of "Bucim". The factory for production of cathodal copper is in function from the beginning of 2012.

Хидрометалуршкиот отпад се дефинира како остаток од излужена суровина, за која се проценува дека е премногу сиромашна понатаму да се преработува. Во рудникот Бучим се одвива хидрометалуршка постапка, а

на самото место се натрупува хидрометалуршки отпад. Овој тип на отпад е нов за рудникот Бучим и секако управувањето со него во иднина ќе претставува нов предизвик. Во ова рударско работилиште не се одвиваат електрометалуршки и пирометалуршки постапки, а со тоа не се создава ни таков отпад. Меѓутоа, во многу стари метални рудници рудата, или рудниот концентрат, се топела или се пржела за да се отстрани сулфурот и да се произведе почист пазарен производ. Како последица од тоа, кај овие стари метални рудници често се среќава испржена руда, згура, пепел и прав од ојаци.



Слика 23. Поедноставен блок – дијаграм на постапката за хидрометалуршка преработка, со која од руда се добиваат метал и излужена руда.

Figure 23. Simplified flow-charts of hydrometallurgical operations, in which ore is treated to yield metals and wastes.

- *Руднички води.* Откопувањето, подготовката и металуршката преработка на минералните сировини не се состои само од вадење и преработка на карпи, и од производство и одлагање на цврст отпад, туку и од создавање, употреба и одлагање на рудничка вода. *Рудничката вода* потекнува од подземната вода или од атмосферските врнежи, кои претрпуваат измени во својот состав при минерално – водените реакции во рударските работилишта. Поимот рудничка вода е збиен и подразбира која било вода во рударското работилиште, без разлика дали е површинска или подземна (Morin and Hutt 1997) (табела 5).

Во проучуваното рударското работилиште водата се користи за потиснување на правот, подготовка на минералната сировина и за хидрометалуршката постапка. Поимот рударска вода овде се употребува во општа смисла, како назив за водата што протекува низ рударското работилиште или што истекува од дел од него и при тоа доаѓа во допир со каква било рударска работа (табела 5). *Мелничка вода* е таа што се користи при дробење и при мелење на рудата. *Технолошка вода* е водата што се користи за преработка на рудата низ хидрометалуршки постапки. Ваквата

вода обично содржи реагенси. Во одредена фаза од рударските работи водата станува непожелна и некорисна за понатамошните рударски работи. Таквата рудничка вода се создава и се одлага во различни фази од откопувањето, од подготовката и од преработката на минералните сировини. Нискоквалитетната вода треба да се пречистува зашто доколку ненадзорно се испушта, истекува, се одлева, или прокапува, па може да дојде до ослободување на топлина, на суспендирани цврсти честички, на бази, на киселини, како и до растворени цврсти честички, како што се: реагенсите, металите, полуметалите, радиоактивните супстанции или солите. Нивното ослободување може да доведе до изразени еколошки последици врз животната средина во близина на рударското работилиште.

Киселото рудничко одлевање (*acid mine drainage*, AMD - АМД) се однесува на конкретната постапка со која се создава рудничка вода со ниска рН – вредност од оксидацијата на сулфидните минерали. Се користат и други поими за опишување на оваа појава, како што се *кисели одливи* или *кисели карпести одливи* (*acid rock drainage*, ARD - АРД). Вторите два поима го нагласуваат фактот дека постојат и природни сулфидни рудни тела во вид на гребени, како и сулфидни карпи, кои активно се распаѓаат, оксидираат и создаваат кисели извори и потоци (Furniss et al. 1999; Posey et al. 2000; Munk et al. 2002). Всушност, киселите водени текови, кои се процедуваат низ такви руди и карпи, може да содржат толку високо ниво на метали и на полуметали што ќе ги пробиваат стандардите за квалитет на водата и може да имаат токсично дејство врз водениот жив свет. Употребата на овие називи настојува да нагласи дека АМД може да настане и по природен пат, без каква било врска со рударските работи. Сепак, таквите природни појави се поретки во споредба со случаите кога рударството е непосредно одговорно за закиселување на водите. Затоа, во овој труд се претпочита називот АМД. АМД е, сепак, несоодветен назив бидејќи тоа почесто влијае врз подземните води отколку врз површинското одлевање од рудниците (Bennett and Ritchie 1993). Таквата нарушена подземна вода често се нарекува и кисела подземна вода (*acid ground water*, AG - АГ). И конечно, некои автори водите настанати со оксидација на сулфидните минерали ги нарекуваат *кисели сулфатни води* (*acid sulfate waters* ASW - АСВ).

Табела 5. Терминологија за рудничката вода (Lottermoser, 2007).

Table 5. Mine water terminology (Lottermoser, 2007).

Термин/Term	Дефиниција/Definition
Вид рудничка вода/Type of mine water	
Рудничка вода/Mine water	Која било површинска или подземна вода присутна во рударското работилиште/Any surface water or ground water present at a mine site
Рударска вода/Mining water	Вода што била во допир со рударското работење/Water that had contact with any of the mine workings
Мелничка вода/Mill water	Вода што била употребувана за дробење и за класирање на рудата/Water that is used to crush and size the ore
Технолошка вода/Process water	Вода што се користи за преработка на рудата по пат на хидрометалуршка постапка; ваквата вода обично содржи реагенси/Water that is used to process the ore using hydrometallurgical extractions techniques; it commonly contains process chemicals
Излужина/Leachate	Вода што се процедила низ цврст руднички отпад или од него/Mine water that has percolated through or out of solid mine wastes
Притока/Effluent	Рударска, мелничка или технолошка вода што се испушта во површинските води/Mining, mill or process water that is discharged into surface waters
Вода од руднички одливи/Mine drainage water	Површинска или подземна вода што реално или потенцијално се одлева од рударското работилиште во околната средина/Surface ground water that actually or potentially flows from the mine site into surrounding areas
Вода од кисели руднички одливи (АМД)/Acid mine drainage (AMD) water	Површинска или подземна вода со ниска pH – вредност што настанала со оксидација на сулфидните минерали и што реално или потенцијално се одлева од рударското работилиште во околната средина/Low pH surface or ground water that formed from the oxidation of sulfide minerals and that actually or potentially flows from the mine site into surrounding areas
Вид постапка/Type of process	
Рудничко истекување/Mine seepage	Бавно течење на подземната вода во површински копови, подземни простории, отпадни одлагалишта, јаловински брани или во купови за лужење/Slow flow of ground water to the surface at pit faces, underground workings, waste dumps, tailings dams, and heap leach piles
Рудничко одлевање/Mine drainage	Постапка на испуштање на водата од рудникот/Process of water discharge at a mine
Кисело рудничко одлевање (АМД)/Acid mine drainage (AMD)	Постапка на создавање рудничка вода со ниска pH – вредност по пат на оксидација на сулфидните минерали/Process whereby low pH mine water is formed the oxidation of sulfide minerals

8. ТЕХНОГЕНО НАОЃАЛИШТЕ ПОВРЗАНО СО КОПОВСКОТО ОДЛАГАЛИШТЕ НА РУДНИКОТ БУЧИМ

Со Одлуката за градење и изградбата на построение за добивање на бакар со метода на лужење од оксидно-сулфидните руди на рудникот Бучим со локација на простор испод одлагалиштето бр. 1 се овозможи и третирање на одлагалиштето бр. 1 како техногено наоѓалиште на севкупните количини на депонирани рудни маси третирани како јаловина на преку 120.000.000 t, со просечни содржини на бакар од 0,080%. Иако просторот на одлагалиштето бр.1 зафаќа поголеми површини, а истото и сега се користи за одлагање на јаловите маси и руди со пониски содржини од 0,15% Cu, во оваа магистерска тема ќе се посочи и детално ќе се проанализира одредена подобна локација за оросување која приближно би ги означувала локалитетите каде се концентрирани поголеми одвоени количини на депонирана за тоа време неекономска категорија на руда од претходниот период на експлоатацијата на рудните тела Чукар 1, Чукар 2 и Централно рудно тело (ЦРТ).

Во ова поглавје најпрво детално ќе се образложи постапката на распаѓање на сулфидниот отпад. Од суштинско значење е да се разберат сложените хемиски реакции во сулфидниот отпад зашто тие го предизвикуваат создавањето на АМД. По тоа следуваат и расправи како да се предвидат и да се следат таквите киселотворни отпади. Во овој дел се документирани и еколошките последици од сулфидниот отпад, во прв ред загадувањето на површинските почви, а се сумирани и информациите за АМД води од рудникот Бучим, дадени се начелата за одредување на особеностите на овие руднички води, нивното следење, предвидување, еколошки последици, а исто така се разгледува и применетата стратегија за управување со нив. Поглавјето завршува со разгледување на практично применетата метода на лужење, која е одлична економско – еколошка метода за справување со сулфидниот руднички отпад и АМД водите во рудникот Бучим.

8.1. Распаѓање на сулфидниот руднички отпад

Сулфидниот руднички отпад кој го чини одлагалиштето бр. 1 претставува полиминерален агрегат. Агрегатот, покрај сулфидите, содржи и широк опсег од други минерали, како што се силикатите, оксидите, хидроксидите, халогенидите и карбонатите. Силикатите се најприсутни примесен минерал, додека пак,

сулфидите може да се јават и како руда, и како примеса. Па така, минерологијата на сулфидниот отпад и руда е изразито својствена за наоѓалиштето Бучим.

Кога со рударството сулфидите ќе се изложат на оксидирачка средина, материјалот станува хемиски нестабилен. Спонтано почнува цела серија сложени хемиски реакции на распаѓање. До тоа доаѓа бидејќи минералниот состав содржан во отпадот не е во рамнотежа со оксидирачката средина. Распаѓањето на минералите продолжува и под дејство на атмосферските гасови, атмосферските врнежи и на микроорганизмите (Lottermoser, 2007).

Хемиското распаѓање на поединечен минерал во полиминералниот агрегат на одлагалиштето бр. 1 може да биде реакција која создава киселина (т.е. таква што создава H^+), реакција која разблажува киселина (т.е. таква што троши H^+) или реакција која ниту создава ниту разблажува киселина (т.е. таква што ниту создава, ниту троши H^+). На пример, распаѓањето на пиритот и халкопиритот е реакција која создава киселина, додека пак, распаѓањето на калцитот е реакција која разблажува киселина, а пак, растворањето на кварцот ниту создава ниту троши киселина. Урамнотеженоста на сите хемиски реакции што се случуваат во сулфидниот отпад депониран во одлагалиштето бр. 1, со текот на времето, довеле до скиселување на материјалот и создавање на АМД.

8.2. Реакции кои создаваат киселина во сулфидниот руднички отпад

Во одлагалиштето бр. 1 реакциите на распаѓање на пиритот, халкопиритот и другите сулфидни минерали се основните процеси кои генерираат АМД води кои истекуваат од сулфидниот руднички отпад во Јасенов Дол и Бучимски Дол.

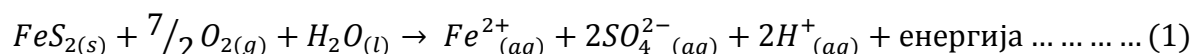
8.2.1. Пирит

Сулфидите се стабилни во изразито редуцирачки услови. Изложувањето на овие минерали на оксидирачки услови ги дестабилизира и сулфидите набргу ќе бидат уништени од страна на различни оксидирачки механизми. Пиритот е најизобилен од сите сулфидни минерали. Се јавува, речиси, во сите видови геолошки средини и често ги придружува јагленовите пластови и металните рудни наоѓалишта. Затоа и пиритната оксидација е сеопфатно проучена од сите можни научни гледишта и постои обемна литература на оваа тема (на пр. Luther 1987; Evangelou 1995; Keith and Vaughan 2000). Во споредба со пиритот, многу малку внимание им е посветено на другите сулфиди, како што се галенитот, сфалеритот и халкопиритот.

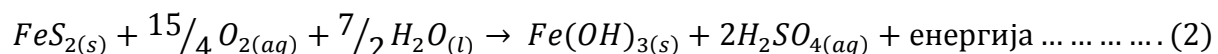
Пиритот претставува најзастапен сулфиден минерал во рудното тело Централен дел, односно во рудното лежиште Бучим. Во РТ Централен дел содржината на пиритот е до 2%, а во површинските делови е зафатен со оксидација. Пиритната оксидација настанува кога минералот ќе се изложи на кислород (Rimstidt and Vaughan 2003). Оксидацијата што се случува под дејство на микроорганизми се нарекува биотична. Пиритната оксидација може да настане и без микроорганизми, како абиотична хемиска оксидационска постапка. Биотичното и абиотичното распаѓање може да биде причинето од кислород (т.е. непосредна оксидација), или пак, од кислород и од железо (т.е. посредна оксидација) (Evangelou and Zhang 1995). Различните пиритни оксидационски механизми може да се поделат вака:

1. Оксидација со кислород (абиотична непосредна оксидација);
2. Оксидација со кислород во присуство на микроорганизми (биотична непосредна оксидација);
3. Оксидација со кислород и со железо (абиотична посредна оксидација) и
4. Оксидација со кислород и со железо во присуство на микроорганизми (биотична посредна оксидација).

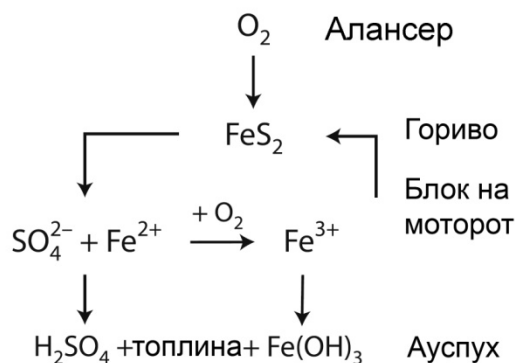
Обично се користат стехиометриски хемиски реакции за опишување на различните оксидационски механизми. Во абиотичната и во биотичната непосредна хемиска реакција (механизми 1 и 2) кислородот непосредно го оксидира пиритот (Lottermoser, 2007):



Сепак, општоприфатено е гледиштето дека пиритот првенствено оксидира по пат на посредна оксидација (механизми 3 и 4). Посредната оксидација на пиритот вклучува хемиска оксидација на пиритот со кислород и со ферично железо (Fe^{3+}), што се случува во три последователни чекори. При тоа реактивните патишта на пиритот се нарекуваат и АМД – мотор (слика 24). Пиритот, Fe^{3+} и кислородот се „горивото“, кислородот е, исто така, и „анласер“, а пак, хидроксидот на Fe^{3+} , сулфурната киселина и топлината излегуваат низ „ауспухот“ на сулфидниот отпад. Таквиот упростен модел на посредна оксидација на пиритот може да се резимира преку една вкупна реакција:



Горната реакција го опишува распаѓањето на пиритот, ја нагласува потребата од вода и кислород и го прикажува создавањето киселина и железен хидроксид. Сепак, во литературата се наидува на многу малку консензус за точните реактивни механизми што ја опишуваат постапката на пиритната оксидација (Lottermoser, 2007).



Слика 24. Самоодржливо, кружно распаѓање на пиритот поедноставено како АМД – мотор. Оксидацијата на пиритот почнува со кислородот („алансер“). Пиритот, кислородот и железото („горивото“) согоруваат во отпад („блок“) и ослободуваат хидроксиди на Fe^{3+} , сулфурна киселина и топлина во рудничките води („ауспух“) (Lottermoser, 2007).

Figure 24. The self-sustaining, cyclic destruction of pyrite simplified as the “AMD engine”. The oxidation of pyrite is initiated through oxygen (“starter switch”). Pyrite, oxygen and iron (“fuel”) combust in the waste (“engine room”), and release Fe^{3+} hydroxides, sulfuric acid and heat into mine waters (“exhaust pipe”) (Lottermoser, 2007).

Брзината на распаѓање на пиритот во проучуваниот сулфиден руднички отпад зависи од неговите минералошки својства и од надворешните хемиски, физички и биолошки чинители. Во минералошки својства спаѓаат честичната големина, шупливоста, површината, кристалографијата и содржината на елементи во трага во пиритот. Во надворешни чинители спаѓаат присуството на други сулфиди, присуството, или отсуството на микроорганизми, како и концентрацијата на кислород и јаглероден диоксид, температурата, pH – вредноста и соодносот на $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ во разградувачкиот раствор (Lottermoser, 2007).

Стапката на пиритната оксидација (т.е. кинетиката на распаѓањето на пиритот во дадено време) зависи од претходно наведените параметри. Брзото распаѓање на пиритот во одлагалиштето бр. 1 во рудникот Бучим создава големи количества киселина и мобилизира големи количества метали и полуметали. Поради тоа, создавањето АМД во одлагалиштето бр. 1 и неговите последици за животната средина се навистина жестоки.

8.2.2. Други сулфиди

Пиритот е доминантен метален сулфиден минерал во наоѓалиштето Бучим и како таков ја игра клучната улога во создавањето на АМД. Но и други сулфидни минерали се појавуваат со пиритот, првенствено халкопирит, халкозин, ковелин и пиротин. Нивната оксидација, исто така, влијае врз хемијата на рудничките води. Распаѓањето на овие сулфиди може да настане по пат на непосредна, или посредна оксидација со помош на кислород, железо, или на бактерии (Romano et al. 2001). Оксидациските механизми на сулфидите се аналогни на тие на пиритот, но реактивната стапка може да биде многу различна (Rimstidt et al. 1994).

Распаѓањето на различните сулфиди се проучува и низ лабораториски обиди и со теренски проучувања (Rimstidt et al. 1994; Jambor 1994). Главниот заклучок вели дека сулфидните минерали се разликуваат по нивната можност за создавање киселини, реактивната стапка и по степенот на отпорност на распаѓање. Различни сулфидни минерали различно се однесуваат при распаѓање. Пиритот, марказитот (FeS_2) и пиротинот ($Fe_{1-x}S$) се чини дека се најреактивните сулфиди и нивната оксидација создава води со ниска pH – вредност. Другите сулфиди, на пример ковелинот (CuS) и халкозинот (Cu_2S), вообичаено се многу понереактивни од пиритот. Ова делумно се должи на: поголемата стабилност на нивната кристална градба; недостигот од ослободено железо и создавањето минерали со слаба растворливост, кои може да ги обвијат сулфидите, и да ја спречат понатамошната оксидација (Lin 1997; Plumlee 1999). Конечно, истрајноста на минералите како што е молибденитот (MoS_2) во кисели средини укажува на тоа дека се распаѓаат многу бавно во аеробни услови (Plumlee 1999). Овие сулфиди се најотпорни на оксидација и не создаваат киселост.

Присуството на железо во сулфидните минерали или во водите што се во допир со сулфидните минерали се чини дека е од голема важност за оксидацијата на сулфидите. И навистина, количеството железни сулфиди присутни во составот на карпата силно влијае врз тоа дали ќе дојде до распаѓање и во колкава мера (Plumlee 1999). Сулфидниот отпад во одлагалиштето бр. 1 е со висок удел на железни сулфиди (пирит, марказит и пиротин) и сулфиди што содржат железо како главна состојка (халкопирит) при што се создава значително повеќе киселост од отпадите со низок удел на железни сулфиди или

сулфиди што содржат малку железо (на пр. галенит, сфалерит осиромашен од железо). Освен тоа, важно е и ослободувањето на Fe^{2+} со оксидацијата на ферожелезоносни сулфиди зашто Fe^{2+} може да се оксидира до Fe^{3+} , кој пак, понатаму може да се хидролизира создавајќи киселост (Boon et al. 1998; Munroe et al. 1999). Значи, сулфидните минерали што не содржат железо во својата кристална решетка (на пр. ковелин, галенит или сфалерит сиромашен со железо) не се способни да создадат значајни количества киселина (Plumlee 1999). Причината е што Fe^{3+} го нема како важен оксиданс. Како последица на тоа, не може да дојде ниту до хидролиза на железото, со што би се создала дополнителна киселост.

Соодносот метал/сулфур во сулфидите одредува колку сулфурна киселина ќе се ослободи со оксидацијата. На пример, пиритот и марказитот имаат сооднос метал/сулфур 1:2 и се побогати со сулфур од галенитот и од сфалеритот, чијшто сооднос метал/сулфур е 1:1. Затоа и пиритот и марказитот создаваат повеќе киселина по мол минерал. Сулфидните минерали обично содржат елементи во трага, како мали цврсти или течни состојки, асорбирана превлака, или замена за главните метални катјони во кристалната решетка. Овие елементи се ослободуваат, а по можност и се мобилизираат при распаѓањето на минералот – домаќин. Значи, со оксидација на сулфидите се ослободуваат големи количества сулфати и метали, како и количества во трага од други метали и неметали.

Стабилноста, стапката на реактивност и способноста за создавање на киселина во голема мера се разликуваат од еден до друг сулфид. Без оглед на стапката на оксидација и способноста за кислотворност распаѓањето на сулфидите во одлагалиштето бр. 1 придонесува за ослободување на онечистувачите во рудничките води.

8.3. Реакции кои ги разблажуваат киселините во сулфидниот руднички отпад

Оксидацијата на пиритот, сталожувањето на железните и на алуминиумовите хидроксиди и растворањето на некои вторични минерали ослободуваат водород во растворот. Овие постапки ја зголемуваат киселоста на растворот, освен во случаите кога водородот ќе се потроши низ разблажувачките реакции. Во одлагалиштето бр. 1 главнината од разблажувањето на создадените киселини се остварува при реакцијата на киселиот раствор со карпестите минерали

од сулфидниот отпад. Овие минерали примеси имаат способност да ја разблажуваат киселината. Тоа значи дека овие минерали ќе реагираат со водородните јони и ќе ги потрошат. Разблажувањето на киселините главно се должи на распаѓањето на силикатите, карбонатите и на хидроксидите.

Овие разблажувачки реакции се јавуваат во истите оксидирачки услови што го предизвикуваат распаѓањето на сулфидните минерали. Но, за разлика од реакциите на оксидација на сулфидите, реакциите на разблажување на киселините се независни од кислородната концентрацијата во гасната или во водената фаза во која се случува реакцијата на распаѓање. Различните минерали примеси се раствораат при различна рН – вредност, а разблажувањето на рН – вредноста на растворот од страна на различни минерали се јавува само во одредени рН – средини (слика 25). Според тоа, зависно од видот и од изобилството на примесни минерали во отпадот (т.е. од разблажувачката способност на материјалот), не мора секој сулфиден отпад да создава исти кисели излучини и исти еколошки грижи (Lottermoser, 2007).

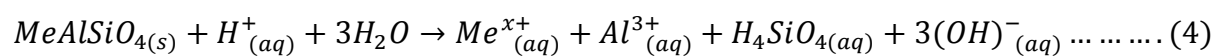
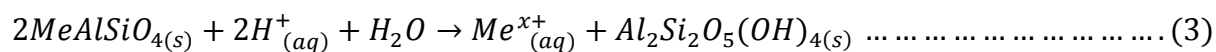
Слика 25. Скалесто трошење на разблажувачката способност на претпоставено одлагалиште на сулфиден отпад (Salomons 1995).
Figure 25. Stepwise consumption of buffering capacity in a hypothetical sulfidic waste dump (Salomons 1995).



8.3.1. Силикати

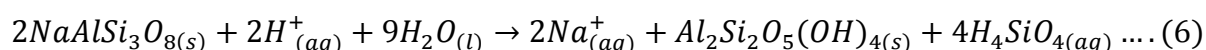
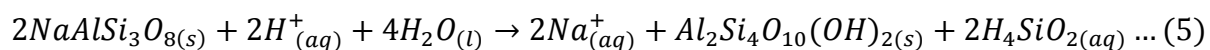
Главното средиште на разблажувачкото дејство во сулфидниот руднички отпад складиран во одлагалиштето бр. 1 се силикатните минерали кои ја сочинуваат главнината на минералите во карпите од прекамбрискиот метаморфен комплекс и терциерните вулкански карпи. Хемиското распаѓање на силикатните минерали ги троши водородните јони и се пројавува како ускладено или како неускладено распаѓање. Ускладеното распаѓање подразбира целосно растворање на силикатниот минерал и производство само на растворливи состојки (реакција 3). Неускладеното распаѓање е почестиот облик на силикатно распаѓање со кој силикатниот минерал се преобразува во друг минерал (реакција 4). Хемискиот состав на повеќето силикати како што се оливините, пироксените, амфиболите, гранатите, фелдспатите, фелдспатоидите, глините и лискуните е

ограничен на само некои елементи. Па така, двата вида силикатно распаѓање може да се прикажат преку следниве реакции:

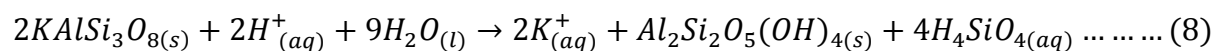
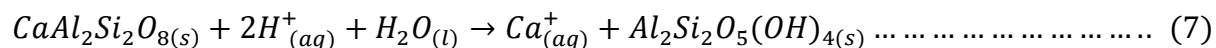


($Me = Ca, Na, K, Mg, Mn$ или Fe)

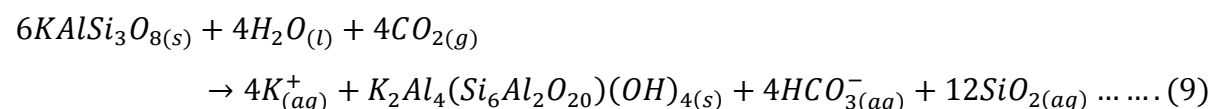
Хемиското распаѓање на силикатите доведува до трошење на водородните јони, создавање растворени катјони и силициумова киселина, како и до создавање секундарни минерали (Puura and Neretnieks 2000). На пример, неускладеното распаѓање на плагиокласниот фелдспат, албит, богат со натриум ($NaAlSi_3O_8$), присутен и до 30 % во гнајсевите на наоѓалиштето Бучим, може да создаде монтморилонит (поедноставен како $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$) или каолинит ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$), зависно од количеството лужина:



Неусогласеното распаѓање на други видови фелдспат, како што е плагиокласниот анортит богат со калциум ($CaAl_2Si_2O_8$), или ортокласите, санидинот, адуларот, или микроклинот ($KAlSi_3O_8$), може да се запишат на следниов начин:

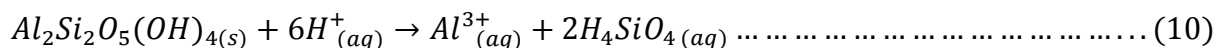


Во повеќето неутрални средини површинската вода содржи растворен јаглероден диоксид. Следнава реакција попрецизно го прикажува неускладеното распаѓање на К-фелдспатот под такви услови (Ollier and Pain 1997):

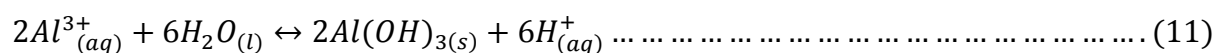


Во горните хемиски реакции (реакции 5 до 9), плагиокласниот и К-фелдспати трошат водородните јони од растворот, или пак, создаваат бикарбонатни јони. Освен тоа, како нуспроизводи од распаѓањето на фелдспатот и на хлоритите се јавуваат Na^+, K^+, Ca^+ , силициумова киселина (H_4SiO_4) и глинестиот минерал каолинит $Al_2Si_2O_5(OH)_2$, илит ($K_2Al_4(Si_6Al_2O_{20})(OH)_4$), или монтморилонит (поедноставен како $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$). Силициумовата, односно силициумова киселина може да се сталожи како опал или криптокристален калцедон (SiO_2). Многу ретко може да се создаде нов кварц, па и тогаш само се

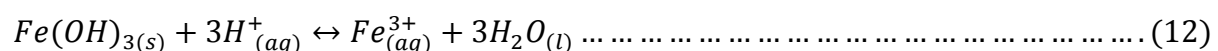
напластува врз веќе постоечките кварцни зрна. Глинестите минерали може и понатаму да се распаѓаат и да потрошат уште водородни јони како што се раствораат. На пример, растворањето на каолинитот може да се прикаже низ следнава реакција:



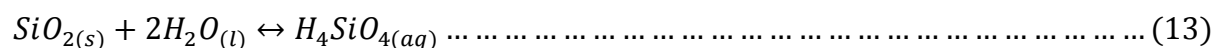
Доколку на растворениот Al^{3+} му се дозволи да се сталожи како гипсит ($Al(OH)_3$), тогаш се губи неутрализирачкиот механизам зашто ќе се ослободи еднакво количество водород во растворот (Deutsch 1997):



Од друга страна, ако гипситот веќе постои како цврста фаза во отпадната карпа, тој ќе даде дополнителна неутрализирачка способност зашто може да ги потроши растворените водородни јони. Слично на тоа, цврстите честички од ферихидроксидот (реакција 12), што претходно се сталожиле со оксидација на пиритот, може повторно да се растворот во закиселената вода, со што и тие ќе трошат водородни јони:



Кварцот (SiO_2), кој во гнајсевите од наоѓалиштето Бучим е присутен од 13 – 17%, калцедонот (SiO_2), опалот ($SiO_2 \cdot nH_2O$) и другите силикатни минерали не трошат водород кога се распаѓаат до силициумова киселина (реакција 13). Силициумовата киселина е многу слаба киселина и не оддава значајно количество водородни јони во растворот. Киселината не е способна да оддаде протони во растворот ако pH – вредноста не е поголема од 9 (Deutsch 1997).



Карбонатните минерали играат особено важна улога во киселоразблагувачките реакции. Меѓутоа истите процентуално се многу ниско застапени во магматските и метаморфните карпи од наоѓалиштето Бучим.

8.3.2. Стапка на реакција

Стапката на распаѓање (т.е. кинетиката на распаѓање) на поединечните минерали во сулфидниот отпад зависи од: а) составот на минералот, големи-ната на кристалот, обликот на кристалот, површината и совршеноста на криста-лот; б) pH – содржината и содржината на растворениот јаглороден диоксид во растворот; в) температурата; г) редокс-услови; и д) прилив на растворувачки агенси, а одлив на распадатите производи (Sherlock et al. 1995).

Во допир со кисели раствори, различни минерали покажуваат различна отпорност кон распаѓање (табела 6). Минералите како што се оливинот и анортитот се пореактивни и понестабилни во површинска средина отколку К-фелдспат, биотит, мусковит и албит (сл. 26). Стапката на различните кисело-разблажувачки реакции е високо променлива и најголемиот дел минерали што влегуваат во состав на карпите се делат според нивната релативна pH – зависна реактивност. Споредено со стапката на распаѓање на дури и најреактивните силикатни минерали, реактивната стапка на карбонатите е прилично брза, особено на калцитот (Strömberg and Banwart 1999).

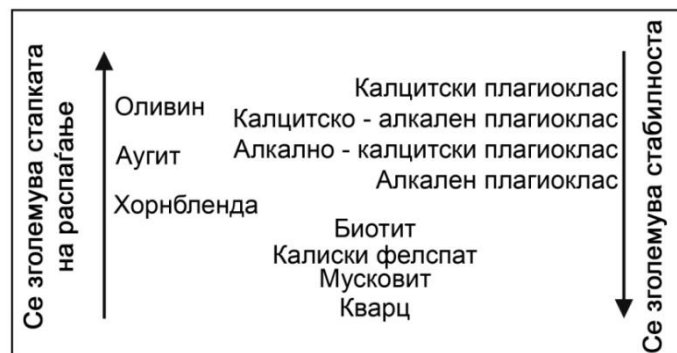
Табела 6. Просечен животен век на кристал од 1 mm при 25 °C и pH вредност 5 (Lasaga and Berner 1998).

Table 6. Mean lifetime of a 1 mm crystal at 25 °C and pH 5 (Lasaga and Berner 1998).

Минерал/Mineral	Животен век (во години)/Lifetime (years)
Калцит/Calcite	0,43
Воластонит/Wollastonite	79
Анортит/Anorthite	112
Нефелин/Nepheline	211
Форстерит/Forsterite	2.300
Диопсид/Diopside	6.800
Енстатит/Enstatite	10.100
Гипсит/Gibbsite	276.000
Санидин/Sanidine	291.000
Албит/Albite	575.000
Прехнит/Prehnite	579.000
Микродин/Microcline	921.000
Епидот/Epidote	923.000
Мусковит/Muscovite	2.600.000
Каолинит/Kaolinite	6.000.000
Кварц/Quartz	34.000.000

Сулфидниот отпад во одлагалиштето бр.1 изобилува со силикатни минерали па нивното обемно присуство наведува дека отпадот богат со силикати е можно да има поизразена киселоразблажувачка способност. Сепак, силикатите во разгледуваниот случај во целост не се раствораат, а и стапката на хемиското распаѓање на силикатите е многу бавна во однос на стапката на создавањето киселина при пиритна оксидација. Затоа, силикатите што влегуваат во состав на карпите не ги разблажуваат киселините во значаен обем и придонесуваат само со симболични количества на дополнителна, долгорочна и разблажувачка способност на сулфидните отпади (Jambor et al. 2000c).

Слика26. Стабилноста на минералите при распаѓањето (Sherlock et al. 1995).
Figure 26. The stability of minerals during weathering (Sherlock et al. 1995).



8.4. Предвидување на создавањето на киселина

Создавањето на АМД може да доведе до загадување на површинската и на подземната вода, што пак, бара скапи постапки за пречистување (Lottermoser, 2007). Таков случај на загадување на овие медиуми е карактеристичен за рудникот Бучим. Затоа од суштествена важност е да се врши прецизно предвидување на киселотворниот потенцијал на сулфидниот отпад, особено при проектирање на нови одлагалишта во околината на рудникот. Предвидувањето на создавањето киселина бара добро разбирање на физичките, на геолошките, на геохемиските и на минералошките особености на сулфидниот отпад. Прибирањето податоци заради предвидување на киселотворноста подразбира извршување на следниве задачи:

- геолошко моделирање;
- геолошки, геохемиски, минералошки и петрографски опис;
- геохемиски статички и кинетички тестови и
- употреба на компјутерски модели за кислородното придвижување и за геохемиските постапки.

8.4.1. Геолошко моделирање

Геолошкото моделирање е основна метода за процена на киселотворниот потенцијал на сулфидниот отпад. Тоа подразбира класифицирање на наоѓалиштето и изведување заклучок за евентуалните проблеми со киселоста (табела 7). Логиката зад оваа метода е дека рудните наоѓалишта од ист вид содржат исти рудни и примесни минерали, и соодветно, исти киселотворни односно, киселоразблажувачки материјали (Kwong 1993). Но оваа метода има многу ограничена примена зашто се раководи од претпоставката дека чинителите што ја определуваат киселотворноста, како што се површината на пиритот, изобилството од сулфиди, или особеностите на отпадниот материјал, се непроменливи за рударските работилишта и рудните наоѓалишта што се

споредуваат. Споредбите се многу неверодостојни, но сепак, може да понудат почетен увид за општата веројатност од киселотворноста. Значи, геолошкото моделирање и класификацијата на рудното наоѓалиште е почетен груб чекор за определување на наоѓалиштето во однос на неговата способност да создава АМД. Од табелата 7 се гледа дека наоѓалиштето Бучим кое спаѓа во групата на порфирски наоѓалишта се одликува со руднички отпад склон кон создавање на АМД, што е потврдено во пракса. Од друга страна, наоѓалиштето Дамјан, кое спаѓа во групата на скарновски наоѓалишта, се одликува со руднички отпад кој малку е склон кон создавање АМД.

Табела 7. Подредување некои видови рудни наоѓалишта според нивниот АМД – потенцијал (според Kwong 1993).

Table 7. Ranking of some ore deposit types according to their AMD potential (after Kwong 1993).

Редно место/ Ranking	Вид рудно наоѓалиште/Ore deposit type	АМД – потенцијал/AMD potential
1	Седиментни ексхалативни масивни сулфидни наоѓалишта, јаглен/Sedimentary exhalative massive sulfide deposits; Coal	Најмногу склони кон АМД/Most AMD prone
2	Вулканогени масивни сулфидни наоѓалишта/Volcanogenic massive sulfide deposits	
3	Епитермални златоносни наоѓалишта/Epithermal gold deposits	
4	Мезотермални златоносни наоѓалишта/Mesothermal gold deposits	
5	Полиметално жични наоѓалишта/Polymetallic vein deposits	
6	Калко – алкални порфирски бакарни наоѓалишта/Calc - alkalic porphyry copper deposits	Наоѓалиште Бучим/The Bučim deposit
7	Алкални порфирски бакарни наоѓалишта/Alkalic porphyry copper deposits	
8	Ортомагматски хром – никелови наоѓалишта/Orthomagmatic chromium – nickel deposits	
9	Олово – цинкови наоѓалишта од видот на Брокен Хил/Broken Hill type lead – zinc deposits	
10	Грајзенски калајни наоѓалишта/Greisen tin deposits	
11	Кимберлитски и лампроитски дијамантски наоѓалишта/Kimberlites and lamproite diamond deposits	
12	Олово – цинкови наоѓалишта од видот на долината на Мисисипи/Mississippi Valley type lead – zinc deposits	
13	Скарновски наоѓалишта/Skarn deposits	Наоѓалиште Дамјан/The Damjan deposit
14	Карбонатитски наоѓалишта/Carbonatite deposits	Најмалку склони кон АМД/Least AMD prone

8.4.2. Геолошки, петрографски, геохемиски и минералошки опис

Предвидувањето на киселотворноста треба да започне многу порано пред да се создаде сулфидниот отпад во рудникот. Првичните процени може да се изведат уште со првите истражни дупнатини и со почетното откопување на рудното тело. Основните темелни податоци за одредување на особеностите на отпадот и за предвидување на киселотворноста се: постојната литологија, градбените одлики, текстурата и минералогиската на рудата и на примесите, опсегот на големината на честичките, длабочината на оксидацијата и геохемијата на целата карпа. Геолошките податоци како што се содржината на пиритот, геохемиската анализа (S, C, CO_3 , метали) и податоците од статичен тест може да се искористат пред да се започне со рударењето за да се изгради тридимензионален блок-модел на различни единици отпадна карпа (Bennett et al. 1997).

Одредувањето на особеностите на сулфидниот отпаден материјал подразбира минералошки, минерално-хемиски и геохемиски истражувања (Lin 1997).

8.4.3. Геохемиски тестови

Геохемиските тестови не треба да се спроведуваат без подробно минералошко и геохемиско истражување на материјалот. Особено добивањето чисти податоци од статички и од кинетички тестови без подробно познавање на минералошкиот состав на отпадот, самото по себе, претставува отпад. Подробни постапки за различни статички и кинетички тестови и упатства за нивно толкување може да се најдат во Морин и Хат (1997) и Лапако (2002). Лабораториски методи за геохемиски анализи на проби земени од природата, вклучително и проби од сулфиден отпад, се дадени во Крок и др. (1999).

8.4.4. Моделирање на оксидацијата на сулфидните одлагалишта

Кислородот е од суштинска важност за оксидацијата на сулфидите во одлагалиштата. Едноставните пресметки покажуваат дека од степенот на присутноста на кислородот зависи стапката на оксидација на сулфидниот отпад (Gibson and Ritchie 1991). Одлагалиштето бр. 1 во рудникот Бучим кое претставува куп од 140.000.000 t сулфидна отпадна карпа има сулфурна концентрација од 1 wt.%. Значи, одлагалиштето содржи 1.400.000 t сулфур, кој според стехиометриските соодноси, ќе бара 2.450.000 t кислород за негова оксидација во сулфат. Купот отпад од 140.000.000 t со претпоставена порозност од 0.3 % содржи приближно 22.400 t кислород, што е само 1/100 од

2.450.000 t потребни количини на кислород за целосна оксидација. Затоа, за да се постигне целосна оксидација на сиот отпад, кислородот од атмосферата ќе треба да навлезе во купот отпад (Gibson and Ritchie 1991).

И навистина, преносот на кислородот до местата на оксидација се смета за процес што ја ограничува стапката на оксидација во одлагалиштата и во јаловиштата (Ritchie 1994). Пренос на гасната фаза на кислород во купот отпад од површината до подлабоките места на оксидација се одвива по пат на: а) дифузија (т.е. проток на кислород предизвикан со градиентот на гасна концентрација); б) конвекција (т.е. проток на воздух предизвикан со дејство на ветерот, промени во барометарскиот притисок, или со топлинска конвекција предизвикана од топлината создадена со егзотермна пиритна реакција) и в) адвекција (т.е. проток на воздух предизвикан со степен на топлина, или на притисок) (Ritchie 1994). Помали количества кислород може да се пренесат во отпадот и по пат на дифузија, или на адвекција на течните фази (т.е. проток на кислород преку врнежите што продираат внатре во отпадот).

Релативниот придонес на дифузијата, конвекцијата или на адвекцијата во вкупниот пренос на гасот зависи од повеќе различни параметри, меѓу кои и местоположбата на отпадот во одлагалиштето, составните материјали и минерали и начинот на кој отпадот бил создаден. Се смета дека дифузниот пренос на кислород преку шуплините исполнети со гас преовладува во незаситени, новоизградени одлагалишта (Ritchie 1994).

Долгорочната реактивност на сулфидниот отпад и неговото однесување при оксидација може да се опише со употреба на внатрешна стапка на оксидација (Ritchie 1994). Внатрешната стапка на оксидација се преместува преку низа математички равенки. Овие равенки ги квантифицираат физичките механизми што ја надгледуваат оксидацијата на пиритниот отпад. На пример, стапката на трошење кислород претставува стапка со која отпадниот материјал го троши кислородот (во единица килограм кислород на кубен метар отпад во секунда; $kg^{-1}m^{-3}s^{-1}$ или $molkg^{-1}s^{-1}$). Со овој поим се квантифицира загубата на кислород од шуплините поради оксидационските реакции во отпадот. Вообичаената вредност на стапката на трошење на кислород пресметана за одлагалиште на отпадна карпа е од редот 10^{-8} до $10^{-11}kg^{-1}m^{-3}s^{-1}$ (Bennett et al. 1994). Во овој модел се претпоставува дека само пиритот го троши кислородот. Но кислородот може да се троши и со оксидацијата на други сулфиди, само-

родни елементи, или на органски материи. Конечно, стапката на сулфидна оксидација и во рамките на едно одлагалиште се чини дека е колеблива; отпадот може да содржи џебови од пооксидирачки материјали, особено кон рабовите од отпадот (Linklater et al. 2005). Затоа на овие модели на распаѓање им се потребни понатамошни усовршувања.

8.5. Еколошки последици

Видливи еколошки последици од сулфидни отпади се ерозијата на отпадот и осиромашената или отсутната флора (Lottermoser, 2007). Површината на одлагалиштето бр. 1 во рудникот Бучим не поддржува никакви растенија поради недостигот од почвени хранливи состојки (N, P) и од органска материја, како и од високата соленост и киселост и високата метална содржина во површинските слоеви на металоносниот отпад. Недостигот од растителен свет врз сулфидниот отпад ја зголемува стапката на ерозија. Ерозивното дејство го порамнува изгледот на отпадот и ја зголемува површината зафатена со отпадни честички. Реактивни и нереактивни отпадни честички навлегуваат во почвите и во реките и може да дејствуваат врз подрачјата на километри низводно од рударското работилиште (Pirrie et al. 1997). Со тоа, подрачјето зафатено со руднички отпад не е повеќе ограничено само на непосредната околина близу отпадот.

8.5.1. Бакар и други тешки метали во површинските почви од околината на рудникот Бучим

Урбаното и руралното загадување со тешки метали денес е предмет на многу студии (Serafimovski et al., 2005; Boev et al., 2005; Stafilov et al., 2010; Birke and Rauch, 1999) вклучувајќи неколку широко распространети метали како што се Ba, Cd, Pb, Cu, Zn, Cr итн. Регионалната контаминација на почвите се појавува најчесто во индустриските региони, во рударските активни и пасивни региони и во населените центри каде фабриките, моторните возила и градскиот отпад се најзначајни извори на метали во траги (A. Kabata – Pendias, H. Pendias, 2001). Поради хетерогеноста и постојаните промени на урбаните и руралните средини, неопходно е најпрво да се разбере природната дистрибуција и методите за одредување на аномалиите кои ги предизвикува човекот во природата. Природното потекло, само по себе, е променливо, што значи дека високите концентрации на некои елементи можат да бидат нормални за еден регион, но аномални за друг. Како и да е, постојат случаи кога

индустриските претпријатија, особено активните или затворените рудници лоцирани близу урбаните или руралните средини иницираат зголемување на загадувањето.

Недостигот на контроли врз загадувањето, рударските активности заедно со зголемениот руднички отпад и други загадувачки емисии во поширокиот регион на бакарниот рудник Бучим предизвикаа значителни влијанија врз водите, седиментите и почвите (Serafimovski et al., 2004). Рудничките и мелничките операции заедно со флотациското концентрирање на рудата и отстранувањето на јаловина обезбедуваат очигледни извори на загадување.

Рудникот и флотацијата за бакар Бучим се наоѓаат на околу 14 km од градот Радовиш. Климата и почвата во околината на рудникот се погодни за одгледување на земјоделски култури. Токму поради тоа испитувањето на составот на почвите и концентрацијата на елементи во траги се од посебна важност. Имајќи ги во предвид антропогените активности во регионот првенствено рударењето, употребата на моторни масла, согорувањето на фосилни горива, употребата на големи количини минерални ѓубрива и наводнувањето со загадени води укажува дека испитувањата од овој тип се неопходни.

Врз основа на сето претходно кажано можеме да констатираме дека познавањето на содржината на овие елементи од една страна е од големо значење за изборот на културата и постигнувањето на високи и стабилни приноси (како есенцијални микроелементи Mn, Fe, Cu и Zn), а од друга страна е од големо значење за проценка на загаденоста на почвата.

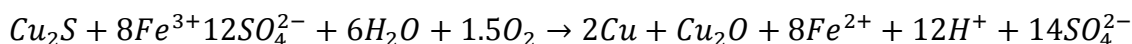
Комплексната геолошка структура на испитуваната област имплицира дека таа содржи различни типови почви.

8.5.1.1 Извори и транспорт на бакар во околината

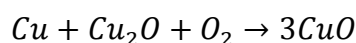
Бакарот е метал со црвена боја и висок сјај, заедно со Ag и Au припаѓа во I – b група во периодниот систем со атомски број 29 и атомска маса од 63,546. Гради многубројни соединенија со сулфурот, па поради тоа се вбројува во групата на халкофилни елементи. Бакарот е редок елемент и се наоѓа на 26 место според застапеноста во земјината кора со содржина од 20 – 30 mg/kg. Во природата се јавува како Cu^+ или Cu^{2+} . Најголеми концентрации на Cu се јавуваат во наоѓалиштата на ликвидни сегрегати заедно со Ni, Au, Se и Fe. Исто така

заедно со Pb, Zn, Mo, Fe и Co гради големи наоѓалишта во хидротермалниот стадиум на рудно образување од кои најзначајни се порфирските наоѓалишта.

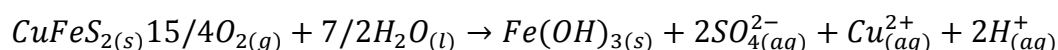
Кога со рударските активности примарните сулфидни минерали се изложат на оксидирачка средина, материјалот станува хемиски нестабилен. Спонтано почнува цела серија сложени хемиски реакциина на распаѓање. Распаѓањето на минералите продолжува и под дејство на атмосферските гасови, атмосферските врнежи и микроорганизмите. Така халкозинот во присуство на водородни и феросулфатни јони се трансформира во самороден бакар и куприт:



Со понатамошна оксидација на самородниот бакар и купритот доаѓа до формирање на тенорит:



Со оксидацијата на халкопиритот во сулфидниот отпад се одвива следнава поедноставена киселотворна реакција:



Поради нестабилноста и високиот степен на растворливост на бакарните соединенија во егзогени услови доаѓа до значителна миграција на Cu^{2+} . Бакарот во оксидациони услови е високомигративен елемент, додека во изразито редукциони средини е инертен. На процесот на миграција на бакарот влијае вредноста на pH т.е во кисела средина при $pH < 6$ Cu^{2+} покажува интензивна миграција, додека пак во алкални или неутрални средини покажува мала мигративност. Како главни причини кои доведуваат до редукција на растворите, а со тоа и намалувањето на миграцијата и соборувањето на бакарот, се вбројуваат присуството на сулфиди на Fe и Zn, присуството на најразлични микроорганизми, органски остатоци како и присуството на карбонатни јони.

Со процесите на оксидација на бакарните минерали доаѓа до ослободување на големи количини на бакар кои со растворите можат да бидат транспортирани на големи растојанија. Во растворите бакарот претежно се јавува во вид на Cu^{2+} , $Cu(OH)_2$, $CuHCO_3$, $CuCl_3$, $CuCl_3^{2+}$, $CuCl^{2-}$.

Бакарот е есенцијален елемент кој игра значајна улога во метаболичките процеси во растенијата и животните. Количината на бакар присутен во почвата е зависна од типот на матичната карпа, оддалеченоста од природните рудни тела и/или вештачките извори на емисии во воздухот. Примарниот извор за растенијата е од почвата, но мали количини можат да резултираат од бакар-

ните базни фунгициди. Иако концентрациите на бакар во растенијата имаат тенденција да се зголемат со зголемувањето на концентрациите на бакар во почвата, својствата на почвата како што се нивото на киселост и содржината на органска материја може да влијаат на количината на бакар кој е апсорбиран. Закиселувањето на почвата, преку примена на одредени ѓубрива, како што се амониум нитрат или органски материјали како мовов тресет и борови игли, може да ја зголеми апсорпцијата на бакар во растенијата.

Содржината на бакар во примероците почва варира во зависност од типот на почвата и геохемиските карактеристики на регионот (Kabata – Pendias and Pendias, 2001). Средната содржина на бакар се движи во рангот од 10 – 20 mg/kg за поголемиот дел од почвени примероци од целиот свет па се до 50 – 60 mg/kg за некои генетски млади почви во алувијалните наслаги, или некои почви поврзани со латеритската кора на распаѓање во тропските региони (Kabata – Pendias and Pendias, 2001). Најголеми полутанти на почвите со бакар се сметаат рудниците во кои се врши експлоатација на бакар, постројките за збогатување на рудни концентрати, топилниците, фабриките за производство на пигменти на база на бакар како и за производство на заштитни средства во земјоделието. Исто така, потенцијални загадувачи на животната средина може да биде и атмосферската депозиција на бакар доколку ветровите и атмосферските талози принесуваат прашина со големи концентрации на бакар која би можела да потекнува од високо загадени подрачја. Најважно за контаминацијата на почвите со бакар е големата способност на површинските почви да го акумулираат овој метал. Како последица на тоа, содржината на бакар во почвата достигнува до екстремно високи концентрации од околу 3500 mg/kg Cu од индустриските извори на загадување и од околу 1500 mg/kg од земјоделските извори на метал (Kabata – Pendias and Pendias, 2001).

Бакарот е есенцијален елемент кој учествува во метаболитичките процеси во човековиот организам. Доколку бакарот се внесе во поголеми количини во човековиот организам претставува токсин. Најизложени на токсичното дејство на бакарот се оние лица кои се во непосреден контакт со бакарни пареи и прашини, односно лица кои се занимаваат со металургија или обработка на полуфабрикати. При долготрајна изложеност на пареи и бакарна прашина може да дојде до заболување кое се нарекува лиечка грозница (febris metallica) која се карактеризира со симптоми слични на грип. За успешно третирање на

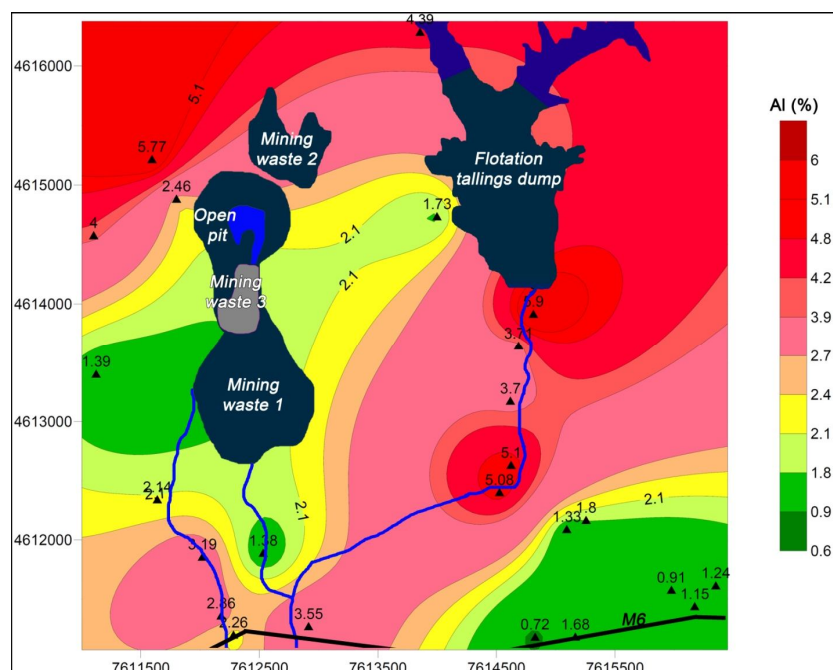
оваа болест мора неодожно да се прекине со контактот со изворот на метални пареи и прадини.

8.5.1.2 Резултати од испитувањата на почвите

Испитувањето на примероците од површинска почва беше направено за да се утврди степенот на контаминација на почвите како резултат на рударските активности во рудникот Бучим. За таа цел беа собрани 25 примероци почва од површинскиот слој (TS). Во сите 25 примероци беше одредне содржината на 19 елементи, и тоа Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, V и Zn. Резултатите од анализите се дадени во табела 7.

Al – Концентрацијата на Al во сите почвени примероци е повисока од МДК. Ова се должи, пред се, на геолошкиот состав на теренот, климата и секако антропогениот фактор.

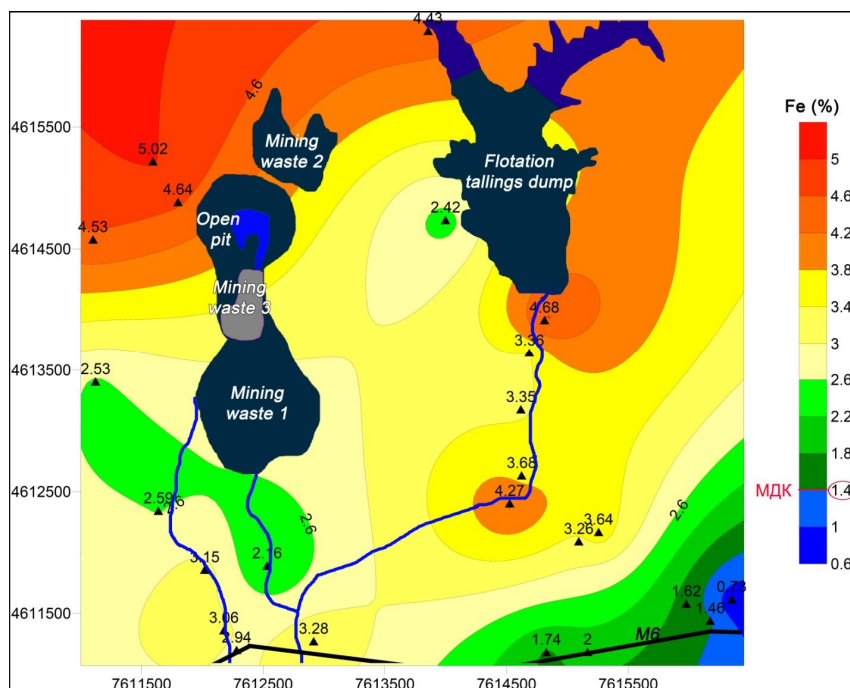
Највисоки концентрации се детерминирани во примерокот P – 2 (5.90%), додека најниски концентрации на Al се присутни во проба P – 12 (0.72%) (слика 27). Средната содржина на Al во пробите е 2.89% и е повисока во однос на МДК за Al во почви со вредност од 0.25%.



Слика 27. Просторна распределба на алуминиум во почвата.
Figure 27. Spatial distribution of aluminum in soil.

Fe – Во сите примероци железото покажува повисоки концентрации од стандардните вредности, освен во пробата P – 10 (0.73%). Највисоки вредности се детерминирани во примерокот P – 22 (5.02%) (слика 28).

Средната содржина на Fe во анализиранте проби изнесува 3.15% и е повисока во однос на МДК за Fe во почвите со износ од 1.4%.



Слика 28. Просторна распределба на железо во почвата.
Figure 28. Spatial distribution of iron in soil.

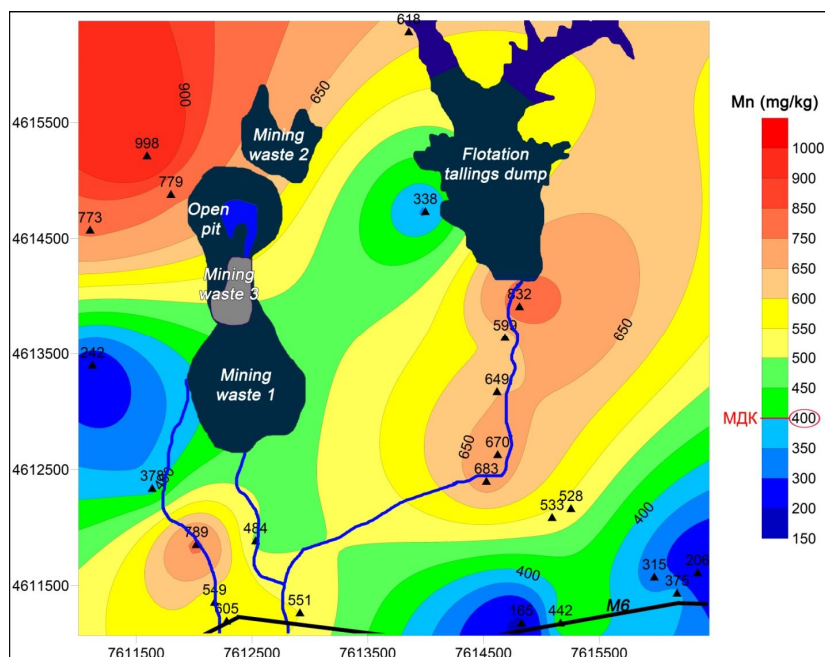
Mn – Овој елемент има концентрации повисоки од МДК.

Максимални вредности достигнува во пробата P – 22 (998 mg/kg), а исто високи концентрации се регистрирани во пробите P – 2 (832 mg/kg) и P – 23 (779 mg/kg) (слика 29). Треба да се истакне дека дел од овие примероци се земени од обработливи почви третирани со органски ѓубрива кои ја зголемуваат концентрацијата на Mn. Најниски концентрации на Mn се регистрирани во пробата P – 12 (165 mg/kg).

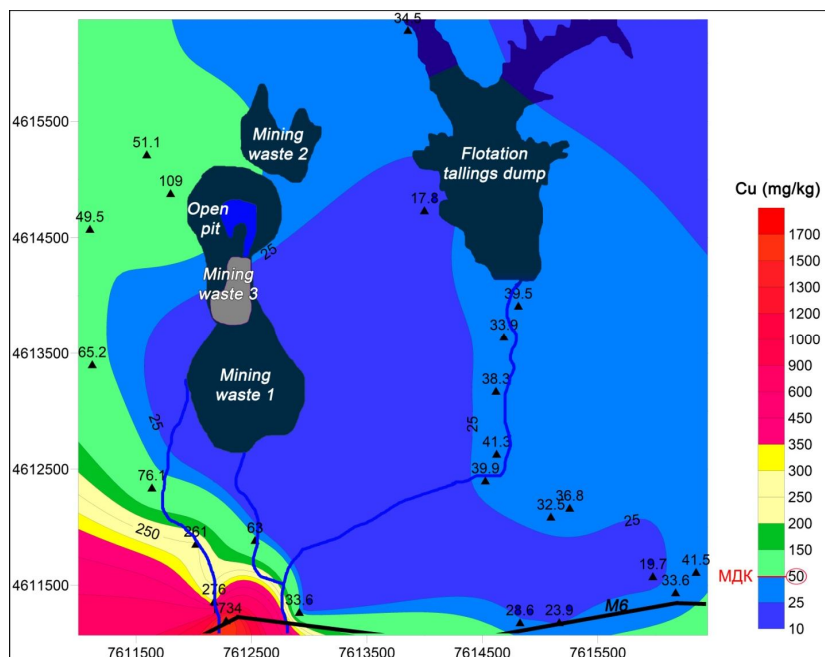
Средната содржина на Mn во пробите изнесува 552.72 mg/kg, што е повисока од МДК за Mn во почви со вредност од 400 mg/kg.

Cu – Со споредба на добиените резултати за бакар со референтните и интервентните вредности за бакарот според холандските стандарди (The new Dutchlist: <http://www.contaminatedland.co.uk/std-guid/dutch-l.htm>), може да се заклучи дека примероците со ознака P – 15, P – 17 и P – 18 ја надминуваат интервентната вредност за бакар од 190 mg/kg (слика 30). Тоа е последица на геолошките одлики на областа, но најмногу антропогените фактори имаат допринесено за ваквата состојба.

Највисоки концентрации на Cu се регистрирани во проба P – 15 (1734 mg/kg). Најниска содржина на Cu е измерена во пробата P – 24 (17.8 mg/kg). Средната содржина на Cu во анализираниите проби е 129.1 mg/kg.



Слика 29. Просторна
распределба на манган
во почвата.
Figure 29. Spatial
distribution of manganese
in soil.



Слика 30. Просторна
распределба на бакар во
почвата.
Figure 30. Spatial
distribution of copper in soil.

Sr – Во најголем дел од анализирани примероци беше детерминирано зголемено присуство на Sr.

Максимални вредности се регистрирани во пробата P – 18 (132 mg/kg). Минимална концентрација е добиена во пробата P – 10 (17.6 mg/kg). Средната содржина на Sr во пробите е 75.8 mg/kg и е повисока од МДК за Sr во почви со износ од 49.00 mg/kg.

Ba – Со споредба на добиените резултати за бариум со референтните и интервентните вредности за овој елемент според холандските стандарди (The new Dutchlist: <http://www.contaminatedland.co.uk/std-guid/dutch-l.htm>), може да се

заклучи дека ниеден од примероците не ја надминуваат интервентната вредност за бариум од 625 mg/kg.

Максимални вредности се добиени во пробата P – 17 (485 mg/kg), а минимум е регистриран во пробата P – 2 (131 mg/kg). Средната содржина на Ba во анализираните проби е 304.7 mg/kg.

Ni – Просечната содржина на никел во почвата за целиот истражуван регион на рудникот Бучим е 29.6 mg/kg. Опсегот на концентрациите на Ni е од 9.8 mg/kg до 69.4 mg/kg. Споредувајќи ги овие резултати со максимално дозволеното ниво за почви во некои европски земји (на пример, во Холандија референтната границата е 35 mg/kg, а интервентната 210 mg/kg, во Обединетото Кралство со максимално ниво од 50 mg/kg (Kabata – Pendias and Pendias, 2001) може да се констатира дека почвите во голем дел од регионот на рудникот Бучим не се контаминирани со никел.

Неговото присуство во минералната асоцијација на наоѓалиштето Бучим како елемент во траги доведува до повисоки концентрации во дел од анализираните примероци.

Cr – Однесувањето на хромот е слично како случајот со никелот. Тој ја достигнува својата максимална вредност во пробата P – 2 (171 mg/kg).

Средната содржина на Cr во пробите е 80.68 mg/kg и во однос на референтната вредност пропишана со холандските стандарди за Cr во почви од 100 mg/kg е пониска, што укажува дека почвите во најголем дел од регионот на рудникот не се контаминирани со хром.

Zn – Од испитувањата утврдена е висока концентрација на Zn во дел од анализираните проби. Ова е резултат на неговото присуство во наоѓалиштето Бучим како микроелемент, а големо влијание на неговата дистрибуција во почвите имаат и органските ѓубрива.

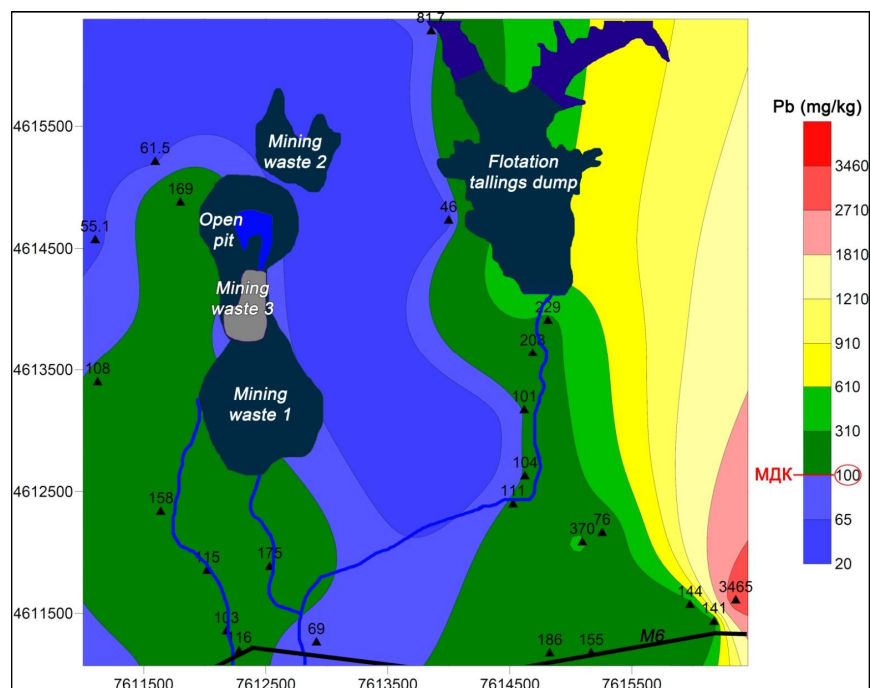
Екстремно високи концентрации се детерминирани во пробите P – 1 и P – 10 кои ги надминуваат интервентните вредности за Zn според холандските стандарди (720 mg/kg). Најниски концентрации се утврдени во пробата P – 16 (88 mg/kg). Средната содржина на Zn во анализираните проби изнесува 319.9 mg/kg и е повисока од референтната вредност пропишана со холандските стандарди за Zn во почви од 140 mg/kg.

Pb – Во најголем дел од примероците неговите концентрации се повисоки од стандардните вредности. Примероците со ознака P – 1 и P – 10 ги надмину-

ваат интервентните вредности за олово (530 mg/kg интервентна вредност според холандските стандарди). Најниски концентрации се регистрирани во проба земена од пункт Р – 24 (46 mg/kg) што е пониска во однос на МДК (слика 31).

Средната содржина на Pb во пробите е 288.25 mg/kg и е повисока од референтната вредност пропишана со холандските стандарди за Pb во почви чија вредност е 80 mg/kg.

Содржините на Pb, Zn и Cd во пробата од површинска почва Р – 10 се исклучително високи, што укажува на блискост на Pb - Zn рудна жица.



Слика 31. Просторна распределба на олово во почват.
Figure 31. Spatial distribution of lead in soil.

Со – Во сите примероци освен во примерокот со ознака Р – 2, е детерминирано присуство на овој елемент под стандардните вредности. Максимални концентрации се регистрирани во пробата земена од пункт Р – 2 (22.3 mg/kg) во непосредна близина на колекторот на флотациското хидројаловиште. Најниски содржини имаме во проба Р – 10 (3.63 mg/kg).

Средната содржина на Со во анализираните проби изнесува 12.3 mg/kg и е пониска од МДК за Со во почви со вредност од 20 mg/kg.

Cd – Многу токсичниот кадмиум покажува многу високи вредности во најголем дел од анализираните примероци. Најголем дел од нив се неколку пати над стандардните вредности. Примерокот со ознака Р – 10 во близина на регионалниот пат М6 ги надминува интервентните вредности за кадмиум (12 mg/kg, интервентна вредност според холандските стандарди). Овој факт укажува на сериозна контаминација со овој елемент.

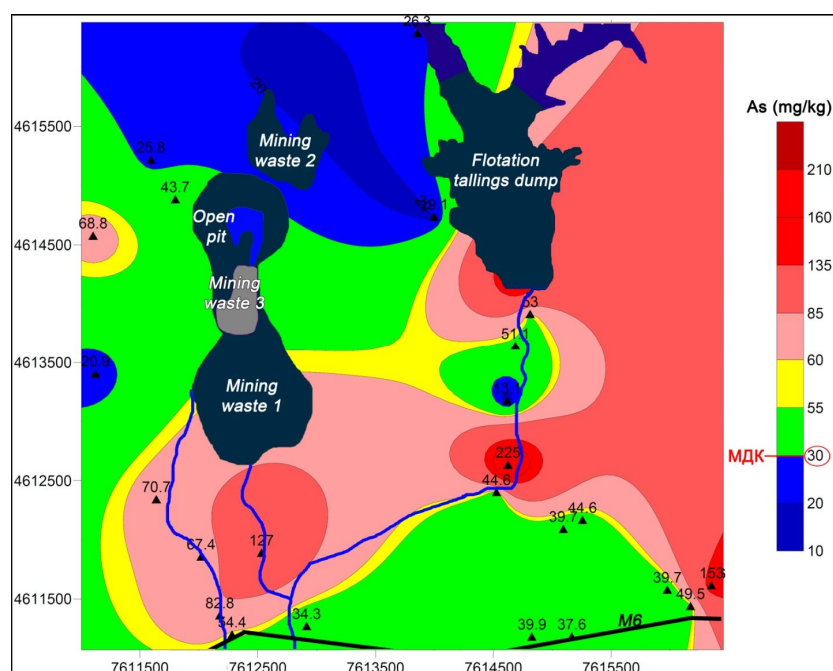
Средната содржина на Cd во пробите е 2.19 mg/kg и е многу повисока од МДК за Cd во почви со износ од 0.80 mg/kg.

V – Овој елемент е присутен во минералната асоцијација во областа, што се демонстрира со висока концентрација во примероците почва. Неговата највисока концентрација е детерминирана во примерокот P – 2 (144 mg/kg), а високи содржини се регистрирани и во пробите P – 1, P – 6 и P – 25. Минимални вредности се измерени во проба од пункт P – 10.

Средната содржина на V во анализираните проби е 83.6 mg/kg и е повисока од МДК за V во почви и изнесува 50 mg/kg.

As – Како директна последица на геологијата на испитуваната област арсенот е детерминиран во концентрации повисоки од стандардните вредности. Примероците со ознаки P – 1, P – 2, P – 10, P – 16, P – 17, P – 18, P – 19 и P – 21 ја надминуваат интервентната вредност за арсен (55 mg/kg интервентна вредност според холандските стандарди). Овој факт укажува на сериозна контаминација со овој елемент што се гледа и од картата за просторна распределба на арсен во почвата (слика 32). Највисока концентрација на арсен е регистрирана во примерок P – 5 (225 mg/kg). Најниски концентрации на As се утврдени во примерокот P – 4 (13.1 mg/kg), што е пониско од МДК. Ниски содржини се регистрирани и во примероците P – 20, P – 22, P – 24 и P – 25.

Средната содржина на As во пробите коишто беа анализирани е 63.9 mg/kg и е повисока од интервентната вредност пропишана со холандските стандарди за As во почви чија вредност е 55 mg/kg.



Слика 32. Просторна распределба на арсен во почват.
Figure 32. Spatial distribution of mangane in soil.

Добиените вредности за содржината на елементите беа статистички обработени со примена на основна дескриптивна статистика (табела 8). Врз основа на тестовите за нормалност и хистограмите на распределба на независните променливи (содржините на елементите) за елементите Al, Fe, K, Na и Li беше употребена нормалност во распределбата на податоците. За сите други елементи беа користени логаритмите на вредностите за нормализација на променливите.

Со примена на биваријабилната статистика утврден е степенот на поврзаност, односно корелацијата помеѓу испитуваните елементи во примероците на почва. Земено е дека апсолутната вредност на коефициентот на корелација од 0.3 до 0.7 иницира добра асоцијација, а помеѓу 0.7 и 1.0 се укажува на постоење на силна поврзаност на елементите. Вредностите за содржината на секој елемент беа во корелација со вредностите за содржината на сите други елементи. Заради појасен преглед сите корелациони коефициенти помеѓу сите елементи се претставени во матрица на коефициенти на корелација дадена во табела 9. Високи позитивни корелации се основани за Al, Ca, Cr, Fe и Mg кои формираат една геохемиска асоцијација на елементи. Присуството на оваа група на елементи е резултат на природните појави (Stafilev et al. 2010). Нивната содржина е променлива и најчесто не е поврзана со антропогенот влијание врз нивната содржина во околината. Исто така високи позитивни коефициенти на корелација се засновани за Mn, Ni, Co, V и Sr кои формираат исто така геохемиска асоцијација на елементи. Оваа асоцијација е поврзана со литогенезата (Stafilev et al. 2010). Испитуваните елементи Pb, Zn и Cd, покажуваат екстремно високи концентрации во источниот дел од испитуваниот терен, особено во близина на магистралниот пат М6. Тие имаат и висок коефициент на корелација, формирајќи една геохемиска асоцијација својствена за тие елементи. Присуството на оваа асоцијација укажува на присуство на Pb – Zn минерализација во тој дел од испитуваниот терен, или пак, на антропогено влијанија врз нивната содржина во околината.

Табела 7. Резултати од анализите на почви земени од околината на рудникот и флотацијата за бакар Бучим. Вредностите за Al, Ca, Fe, K, Mg и Na се дадени во %, резултатите за останатите елементи се дадени во mg/kg.

Table 7. Results from the analysis of soils taken from the surrounding of the mine and flotation for copper Bucim. The values for Al, Ca, Fe, K, Mg and Na are given in %, the results for the remaining elements are given in mg/kg.

Реден бр./ Ordinal no.	Ознака /Mark	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	Ag	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	V	Zn
1	P-1	4,88	3,47	4,14	1,35	1,45	1,69	<0,1	180	194	3,57	18,5	127	46,3	0,13	717	34,2	659	88,7	134	746
2	P-2	5,90	4,28	4,68	1,11	1,97	1,70	<0,1	53,0	131	1,52	22,3	171	39,5	0,15	832	45,6	229	104	144	307
3	P-3	3,71	2,20	3,36	1,96	1,15	2,09	<0,1	51,1	317	1,87	12,9	50,0	33,9	0,16	599	24,4	208	90,6	83,5	279
4	P-4	3,70	2,22	3,35	1,69	1,28	1,93	<0,1	13,1	283	0,75	14,4	78,8	38,3	0,13	649	29,6	101	106	81,7	157
5	P-5	5,10	1,73	3,68	2,21	1,28	1,90	<0,1	225	370	4,72	13,6	86,8	41,3	0,19	670	32,6	104	110	92,4	170
6	P-6	5,08	2,83	4,27	1,60	1,51	1,98	<0,1	44,6	242	2,41	14,6	114	39,9	0,25	683	24,8	111	92,5	141	162
7	P-7	1,33	0,31	3,28	1,60	0,58	1,11	<0,1	39,7	256	2,96	11,6	82,4	32,5	0,09	533	23,7	370	35,3	72,6	472
8	P-8	1,80	0,18	3,64	2,01	0,67	0,77	<0,1	44,6	355	0,70	12,9	96,0	36,8	0,13	528	31,9	76,0	31,7	86,7	132
9	P-9	0,91	0,10	1,62	2,62	0,31	1,64	<0,1	39,7	257	2,34	11,1	55,8	19,7	0,13	315	17,1	144	26,1	42,7	162
10	P-10	1,24	0,07	0,73	3,28	0,12	2,06	<0,1	135	168	17,9	3,62	30,1	41,5	0,08	206	9,8	3465	17,6	14,0	3438
11	P-11	1,15	0,15	1,46	2,90	0,37	1,92	<0,1	49,5	235	1,07	9,98	45,4	33,6	0,13	375	20,2	141	30,4	39,3	197
12	P-12	0,72	0,14	1,74	2,49	0,30	1,52	<0,1	39,9	271	1,84	7,18	57,4	28,6	0,13	165	14,9	186	27,3	42,5	218
13	P-13	1,68	0,42	2,00	2,23	0,52	1,77	<0,1	37,6	308	1,87	11,8	65,1	23,9	0,14	442	21,4	155	51,3	48,7	199
14	P-14	3,55	1,42	3,28	1,58	1,17	1,58	<0,1	34,3	240	1,52	11,3	80,4	33,6	0,10	551	25,4	69	78,9	99,9	110
15	P-15	2,26	0,93	2,94	2,32	0,93	1,97	<0,1	54,4	472	1,14	10,2	63,2	1734	0,11	605	30,4	116	116	76,5	122
16	P-16	1,38	0,27	2,16	2,84	0,41	1,68	<0,1	127	388	0,76	8,95	33,8	63,0	0,08	484	17,4	175	43,6	36,3	88
17	P-17	2,86	0,73	3,06	2,48	0,77	1,99	<0,1	82,8	485	1,61	11,5	48,5	276	0,07	549	22,6	103	128	79,5	91
18	P-18	3,19	0,87	3,15	2,35	0,89	1,90	<0,1	67,4	459	0,75	12,9	49,5	261	0,09	789	26,1	115	132	76,6	93
19	P-19	2,14	0,56	2,59	2,04	0,83	2,06	<0,1	70,7	370	0,99	9,45	56,6	76,1	0,09	378	21,1	158	92,5	58,9	139
20	P-20	1,39	0,22	2,53	2,53	0,63	1,74	<0,1	20,9	377	0,88	9,80	68,3	65,2	0,15	242	33,3	108	47,3	69,1	136
21	P-21	4,00	1,71	4,53	0,79	1,45	1,98	<0,1	68,8	198	0,67	14,3	108	49,5	0,10	773	43,1	55,1	83,1	133	123
22	P-22	5,77	3,10	5,02	1,00	1,92	2,03	<0,1	25,8	252	0,69	16,3	159	51,1	0,07	998	69,4	61,5	117	126	111
23	P-23	2,46	0,74	4,64	1,91	1,16	1,74	<0,1	47,3	352	0,84	17,5	76,2	109	0,08	779	44,0	169	80,1	109	118
24	P-24	1,73	0,42	2,42	2,03	0,80	1,69	<0,1	19,1	444	0,73	9,03	48,8	17,8	0,15	338	25,3	46,0	77,5	61,4	94,8
25	P-25	4,39	3,49	4,43	1,28	1,80	1,62	<0,1	26,3	193	0,67	14,0	165	34,5	0,23	618	50,4	81,7	87,6	141	132
Референтна и интервентна вредност според Холандските стандарди (The new Dutchlist: http://www.contaminatedland.co.uk/std-guid/dutch-l.htm) / Referent and intervene value according to the Holland standards																					
Вредност/ Value		Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	Ag	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	V	Zn
Референтна/ Referent		-	-	-	-	-	-	-	29	160	0,8	9	100	36	-	-	35	85	-	42	140
Интервентна/ Intervene		-	-					15	55	625	12	240	380	190	-	-	210	530	-	250	720

Табела 8. Дискриптивна статистика на вредностите за содржината на елементите во примероци почва (n=25).

Table 8. Descriptive statistics for elements content values in soil samples (n = 25).

	Unit	Dis	X_a	X_g	Md	min	max	P_{10}	P_{90}	s	s_x	CV	A	E
Al	%	N	2.89	2.44	2.46	0.72	5.9	1.186	5.092	1.585	0.317	54.79	0.451	-1.096
Ca	%	log	1.30	0.71	0.74	0.07	4.28	0.144	3.322	1.251	0.250	96.06	0.964	-0.279
Fe	%	N	3.15	2.90	3.28	0.73	5.02	1.668	4.596	1.115	0.223	35.43	-0.236	-0.652
K	%	N	2.01	1.90	2.03	0.79	3.28	1.178	2.752	0.613	0.123	30.53	-0.089	-0.444
Mg	%	log	0.97	0.80	0.89	0.12	1.97	0.334	1.684	0.513	0.103	52.85	0.329	-0.761
Na	%	N	1.76	1.73	1.83	0.77	2.09	1.538	2.051	0.302	0.060	17.11	-1.831	4.253
As	mg/kg	log	63.90	50.45	47.3	13.1	225	22.86	131.8	50.25	10.05	78.63	1.961	3.684
Ba	mg/kg	log	304.68	288.64	283	131	485	193.4	453	97.22	19.44	31.91	0.262	-0.832
Cd	mg/kg	log	2.19	1.43	1.14	0.67	17.9	0.694	3.326	3.359	0.67	153.32	4.339	20.217
Co	mg/kg	log	12.39	11.75	11.80	3.62	22.3	8.982	17.02	3.753	0.75	30.29	0.372	1.340
Cr	mg/kg	log	80.68	72.48	68.3	30.1	171	46.64	146.2	39.044	7.80	48.39	1.089	0.389
Cu	mg/kg	log	129.06	53.9	39.9	17.8	1734	25.78	200.2	333.758	66.75	258.60	4.725	22.969
Li	mg/kg	N	0.13	0.12	0.13	0.07	0.25	0.08	0.178	0.045	0.009	35.94	1.133	1.309
Mn	mg/kg	log	552.72	507.16	551	165	998	271.2	785	205.695	41.139	37.21	-0.052	-0.422
Ni	mg/kg	log	29.55	27.14	25.4	9.8	69.4	17.22	44.96	12.704	2.541	42.99	1.344	2.496
Pb	mg/kg	log	288.25	145.34	116	46	3465	64.5	313.6	659.930	131.99	228.94	4.741	23.083
Sr	mg/kg	log	75.80	65.99	83.1	17.6	132	28.54	116.6	34.378	6.87	45.35	-0.199	-1.229
V	mg/kg	log	83.61	74.17	79.5	14	144	40.58	138.2	36.437	7.29	43.57	0.178	-0.861
Zn	mg/kg	log	319.87	181.87	139	88	3438	93.720	406	651.765	130.35	203.76	4.656	22.44

n – број на мерења; Dis – дистрибуција (log – lognormal; N – normal); X_a – аритметичка средина; X_g – геометриска средина; Md – медијана; min – минимум; max – максимум; P_{10} – 10 перцентили; P_{90} – 90 перцентили; s – стандардна девијација; s_x – стандардна грешка на средна вредност; CV – коефициент на варијација (%); A – асиметричност; E – сплоштеност (ексцес).

n – number of measurements; Dis – distribution (log – lognormal; N – normal); X_a – arithmetical mean; X_g – geometrical mean; Md – median; min – minimum; max – maximum; P_{10} – 10 percentile; P_{90} – 90 percentile; s – standard deviation; s_x – standard error deviation; CV – coefficient of variation; A – skewness; E – kurtosis

Табела 9. Матрица на коефициенти на корелација на примероците на почва (n = 25) (означените корелации покажуваат тесно и многу тесна врска, со практично значење помеѓу испитуваните елементи).

Table 9. Matrix of correlation coefficients in soil samples (n = 25) (the marked correlations show tight and very tight connection, with a practical menaing between the researched elements).

Al	1.00																		
Ca	<u>0.93</u>	1.00																	
Fe	<u>0.82</u>	<u>0.76</u>	1.00																
K	-0.74	-0.76	-0.87	1.00															
Mg	<u>0.94</u>	<u>0.92</u>	<u>0.91</u>	-0.86	1.00														
Na	<u>0.30</u>	0.22	-0.04	0.08	0.20	1.00													
As	0.20	0.08	-0.04	0.20	-0.03	0.18	1.00												
Ba	-0.32	-0.49	-0.17	<u>0.40</u>	-0.31	0.06	0.005	1.00											
Cd	-0.14	-0.15	-0.42	<u>0.40</u>	-0.32	0.18	0.47	-0.32	1.00										
Co	<u>0.77</u>	<u>0.78</u>	<u>0.85</u>	-0.75	<u>0.82</u>	-0.04	0.003	-0.29	-0.41	1.00									
Cr	<u>0.77</u>	<u>0.85</u>	<u>0.81</u>	-0.83	<u>0.86</u>	-0.14	-0.09	-0.55	-0.23	<u>0.77</u>	1.00								
Cu	-0.07	-0.08	-0.02	0.14	-0.02	0.19	-0.02	0.45	-0.08	-0.11	-0.13	1.00							
Li	<u>0.34</u>	<u>0.43</u>	0.20	-0.20	0.34	-0.03	-0.04	-0.23	-0.11	0.21	<u>0.37</u>	-0.15	1.00						
Mn	<u>0.82</u>	<u>0.71</u>	<u>0.88</u>	-0.72	<u>0.83</u>	0.16	0.075	-0.12	-0.32	<u>0.33</u>	<u>0.65</u>	0.09	-0.01	1.00					
Ni	<u>0.69</u>	<u>0.66</u>	<u>0.84</u>	-0.75	<u>0.82</u>	0.04	-0.16	-0.21	-0.36	<u>0.71</u>	<u>0.82</u>	0.01	0.07	<u>0.75</u>	1.00				
Pb	-0.19	-0.15	-0.42	<u>0.39</u>	-0.33	0.17	0.36	-0.34	<u>0.97</u>	-0.42	-0.23	-0.07	-0.22	-0.33	-0.33	1.00			
Sr	<u>0.73</u>	<u>0.58</u>	<u>0.62</u>	-0.47	<u>0.70</u>	<u>0.49</u>	0.09	0.31	-0.33	<u>0.53</u>	<u>0.35</u>	<u>0.33</u>	0.04	<u>0.72</u>	<u>0.49</u>	-0.36	1.00		
V	<u>0.86</u>	<u>0.85</u>	<u>0.95</u>	-0.88	<u>0.93</u>	0.01	-0.03	-0.33	-0.35	<u>0.84</u>	<u>0.87</u>	-0.04	<u>0.37</u>	<u>0.80</u>	<u>0.77</u>	-0.36	<u>0.58</u>	1.00	
Zn	-0.17	-0.12	-0.40	0.36	-0.30	0.15	0.36	-0.37	<u>0.97</u>	-0.39	-0.20	-0.08	-0.19	-0.32	-0.31	<u>0.99</u>	-0.36	-0.33	1.00
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	V	Zn

8.5.2. Руднички води на подрачјето на рудникот Бучим

Во рудникот Бучим водата се користи за истиснување на правот, за подготовката на минералните сировини и за хидрометалуршкиот процес за добивање на бакар со метода на лужење. За овие намени водата се вади од површинските водени текови и од подземните издани. Исто така се јавува и како нуспроизвод од постапката на одводнување. Површинскиот коп во рудникот Бучим е спуштен на ниво 435/420 и е под водостојот на околната подземна вода, па потребно е постојано одводнување за време на рударењето. Во одредена фаза од рударското работење водата станува непожелна и некорисна за него. Всушност, ваквата несакана, или искористена вода мора постојано да се одлага во текот на откопувањето, подготовката на минералните сировини, или нивната хидрометалуршка преработка (Lottermoser, 2007).

Во рудникот Бучим од неодамна рудничките води од коповското јаловиште се собираат во преградни брани, а потоа се искористуваат во хидрометалуршкиот процес за добивање на бакар, или дел од нив се испушта во хидројаловиштето Тополница. Општо земено, обемот на создадената, искористената и одложената вода во едно рударско работилиште е многу поголем од обемот на создадениот цврст отпад (Lottermoser, 2007). Во рудникот Бучим водата доаѓа во допир со рудните минерали (халкопирит) и ги раствора. Затоа водата од рудникот често со себе носи големи количини на бакар и до 704 mg/l. Кога таквите отежнати води ќе стигнат до приемните водни тела, езера, реки или издани, тие може да предизвикаат несакано заматување и таложење, може да ја изменат температурата, или, пак, нивниот хемиски состав може да има токсично дејство врз растенијата и врз животните. На пример, во Соединетите Американски Држави се проценува дека 19.300 km реки и 72.000 ha езера и резервоари се сериозно оштетени од рудничките притоки од напуштените јагленокопи и метални рудници (Kleinmann 1989).

Најлош пример за слаб квалитет на рудничката вода и за еколошки последици предизвикани од тоа се киселите руднички одливни води (АМД), кои настануваат со оксидација на сулфидните минерали од рудничкиот отпад. Сулфидната оксидација е автокаталитична реакција, па затоа, штом еднаш ќе започне создавањето на АМД, тешко да може да се запре. АМД се најжестоки во првите неколку децении откако ќе започне сулфидната оксидација и тогаш во системот се создаваат повисоки нивоа на загадувачи (Lambert et al. 2004;

Demchak et al. 2004). Но, во некои крајни случаи, АМД може да продолжат да се создаваат уште илјадници години.

8.5.2.1. Процеси во рудничките води

Постојат неколку геохемиски и биогеохемиски процеси што се од важност за рудничките води, особено за АМД-водите. Овие процеси, непосредно или посредно, влијаат врз хемијата на АМД-водите. Процесите не се случуваат исклучиво во површински АМД–средини, туку се случуваат и во киселите подземни води (Paschke et al. 2001).

8.5.2.1.1 Микробиолошка активност

Општо, се зема дека АМД-водите се биолошки стерилни, па сепак, тешко може да се каже дека се сосема безживотни. Микроорганизмите како што се бактериите, габите, алгите, археите и протозоите се вообичаени за АМД – водите и обилно се присутни во нив (Johnson 1998). На пример, постојат над 1.300 различни облици на микроорганизми пронајдени во озлогласените кисели води на Рио Тинто, Шпанија (Ariza 1998).

Многубројни се бактериите издвоени од АМД – средините, меѓу кои и *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans* и *Thiobacillus thioparus* (Gould et al. 1994). Овие бактерии најдобро функционираат во кисела, аеробна средина (pH – вредност < 4).

Зелените влакнести алги се многу застапени организми во АМД-водите во рудникот Бучим (слика 33). Таквите алги не само што се способни да вуреат во негостопримливите АМД-води, туку и ги отстрануваат металите и полуметалите од растворот (Lottermoser, 2007). Освен тоа, зелените алги го фотосинтетизираат кислородот и придонесуваат за растворање на кислородот во водите. Ова го помага неорганското сталожување на железото, па така, алгите посредно го отстрануваат железото од АМД – водите (Brake et al. 2001). Акумулациите на метал во збирниот примерок од зелени алги од водите од Бучимското Езеро и неговиот истек се презентирани во табела 10. Покрај тоа податоците се претставени и како дијаграм на слика 34.

Од добиените резултати може да се заклучи дека концентрациите на испитуваните елементи во збирниот примерок од алги се во следниот опаѓачки редослед: Fe > Al > K > Mg > Na > Cu > Mn > Se > V > Mo > Pb > B > Zn > As > P > Ni > Co > Cr > Cd. При што концентрациите за Fe, Al, K, Mg, Na, Cu и Mn се

исклучително високи ($> 1000 \text{ mg/kg}$), концентрациите за Se, V, Mo и Pb се високи ($> 100 \text{ mg/kg}$), елементите B, Zn, As, P, Ni, Co, Cr се јавуваат во покачени концентрации ($> 10 \text{ mg/kg}$), а Cd е со концентрации над 0.1 mg/kg .



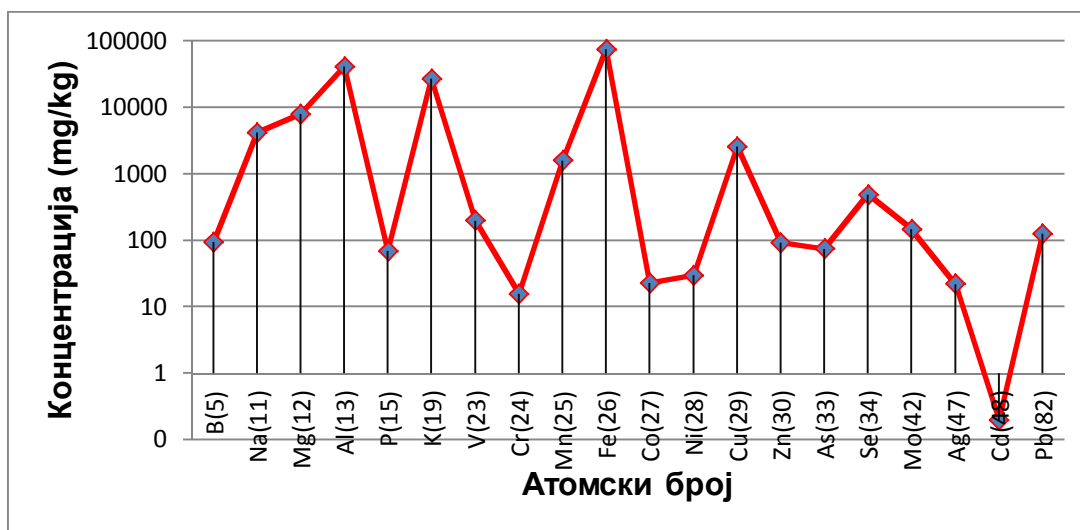
Слика 33. Ленти од зелени влакнести алги што раснат во АМД – води (pH – вредност 3.6 – 5.5; 30 – 40 mg/l бакар во растворот), Бучимско Езеро и од неговиот истек. Алгите содржат 0,258 wt. % бакар.

Figure 33. Strips of green fiber algae that grow in AMD – waters (ph – value 3.6 – 5.5; 30 – 40 mg/l copper in the solution), Bucim lake and from its leakage. The algae contain 0.258 wt % copper.

Табела 10. Резултати од анализиран збиен примерок од алги од Бучимското Езеро и од неговиот истек. Вредностите за Al, Fe, Mg, Na, K, Mn и Cu се дадени во %, резултатите за останатите елементи се дадени во mg/kg.

Table 10. Results from analyzed collective sample of algae and Bucim lake and from its leak. The values for Al, Fe, Mg, Na, K, Mn and Cu are given in %, the results for the rest of the elements are given in mg/kg.

Al	4,1
Fe	7,5
Mg	0,8
Na	0,42
K	2,7
Mn	0,159
P	69
B	94
Cu	0,258
Zn	92
Pb	125
Ni	30
Cr	16
Co	23
Cd	0,20
V	198
Mo	148
As	75
Se	487
Ag	22



Слика 34. Концентрации на различни елементи во збирната проба од алги.

Figure 34. Concentrations of different elements in the collective trial of algae.

АМД-водите кои дренираат од одлагалиштето бр. 1 во Бучимското Езеро, се карактеризираат со проток од 15 – 20 l/s, со pH вредност од 3.6 – 5.5, а концентрацијата на Cu се движи во ранг од 30 – 45 mg/l. Овие зелени алги живеат во ваква АМД-средина бидејќи: а) поднесуваат покачени концентрации на растворени метали и полуметали и б) ја користат енергијата од хемиската реакција на оксидацијата за сопственото растење. Освен тоа, овие алги се способни да отстрануваат елементи од АМД-водите по пат на адсорпција и сталожување. На тој начин, овие алги, а и многу други микроорганизми учествуваат, активно или пасивно, во отстранувањето на металите и на полуметалите од рудничките води (Ferris et al. 1989; Leblanc et al. 1996). Зелените алги кои живеат во Бучимското Езеро имаат способност да акумулираат, т.е да вградуваат метали во клеточната структура, при што металите и полуметалите апсорбирани од овие алги достигнуваат дури и до неколку тежински проценти од клеточната сува маса на алгите. Воочливи се високи концентрации за токсични метали и полуметали за Fe, Cu, Mn, Se, V, Mo, Pb, B, Zn и As. Содржината на Cu во испитуваните зелени алги изнесува 0.258 wt. %. Оваа вредност е скоро иста со вредноста на Cu од 0.250 wt.% во влакнестите алги (*Klebsormidium* sp.) што растат во АМД-водите (pH – вредност 4,2; бакар во растворот од 7.4 mg/l), во рударската област за бакар Галф Крик, Австралија (Lottermoser et al. 1999) Освен тоа, органската материја и мртвите клетки од овие алги и другите микроорганизми посредно учествуваат во прицврстувањето на металите. На дното од Бучимското Езеро има натрупано мртва био-

маса воглавно од овие зелени алги, а нејзиното распаѓање ќе доведе до создавање анаеробни и редуцирачки услови. Во такви услови повеќето метали може да се стложат како сулфиди и да станат и нерастворливи и достапни за постапките на придвижување (Lottermoser, 2007).

Накратко, зелените алги присутни во АМД-водите во рудникот Бучим ги атсорбираат и ги стложуваат металите и полуметалите од рудничките води. Затоа микроорганизмите играат важна улога во растворливоста и во прицврстувањето на металите и на полуметалите во АМД-водите.

8.5.2.1.2. Растворање и таложење на секундарни минерали

Таложењето на секундарните минерали и на слабокристалните и аморфни супстанции е вообичаено за АМД – средините (McCarty et al. 1998). Стложувањето на цврстите честички е проследено со намалување на содржините на поединечните елементи и соединенија, што доведува до помал број вкупно растворени цврсти честички (ТДС) во рудничките води. Но стложените соли може повторно да се растворат. Особено изложувањето на растворливите минерални соли на вода ќе го предизвика нивното растворање, со промената на текот на подземните води или со врнежите.

Секундарните соли може да се поделат на: веднаш растворливи, помалку растворливи и нерастворливи. Растворливите соли понатаму може да се поделат на: киселотворни, некиселотворни и киселоразблажувачки фази. Пред се, создавањето соли на Fe^{3+} и Al^{3+} , како и сулфатни соли на Fe^{2+} , Fe^{3+} и Mn^{2+} , влијае врз pH – вредноста на растворот зашто нивното создавање може да потроши и да создаде водородни јони. Сепак, таквиот образец на поделба е премногу упростен и не ги зема предвид физичките, хемиските и биолошките средини во кои се раствораат минералите. Растворливоста на секундарните минерали е многу колеблива и главно е зависна од pH – вредноста, Eh и од хемијата на растворот (Lottermoser, 2007).

Од минералошкото истражување на стримседиментите од реката Крива Лакавица (слика 35), кој ја дренира областа на рудникот Бучим, дефинирани се главните секундарни минерали кои се тложат на дното од течението на оваа река (Bermanes et al, 2005). XRD моделите (слика 36) од оваа истражување на стрим седиментите испитани од 3 точки, укажуваат на ист минерален состав на сите испитувани примероци. Примероците доминантно содржат халкоалунит и

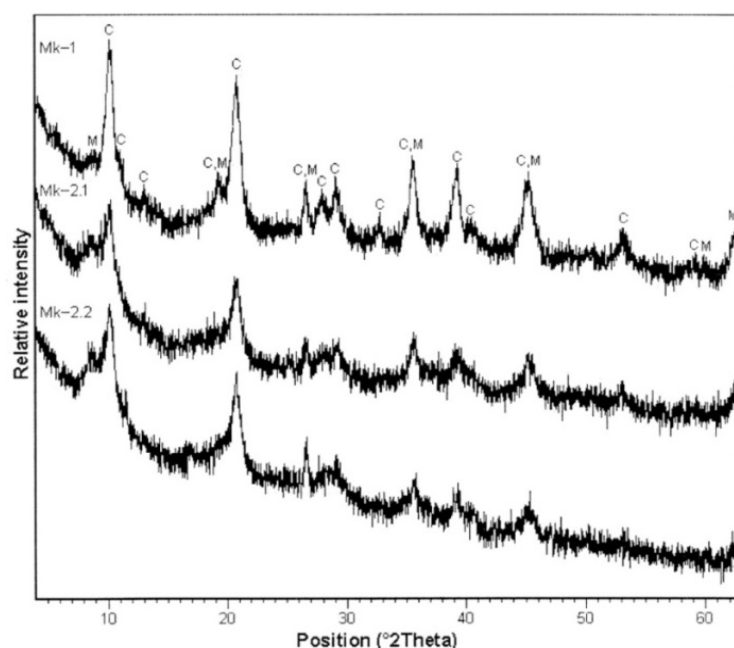
10Å – филосиликат (Bermanec et al, 2005). Спроведените квалитативни хемиски анализи (слика 37) покажуваат типичен хемиски состав за минералните фази детерминирано со XRD. Типичната површинска морфологија на испитуваните примероци е прикажана на слика 38 (Bermanec et al, 2005) .

Минералошкиот состав на испитуваните стрим седименти од реката Крива Лакавица го покажува халкоалунитот ($\text{CuAl}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_{12} \times 3\text{H}_2\text{O}$) како главна минералошка стапица за бакарот излужен од подрачјето на рудникот Бучим кон блиските водени текови. Минералот е стабилен укажувајќи на неговото појавување во седиментите на речниот тек под дадени рН услови. Појавувањето на халкоалунитот во стрим седиментите укажува на кисела рудничка дренажна вода со рН = 4.9 на која халкоалунитот се таложи (Bermanec et al, 2005).



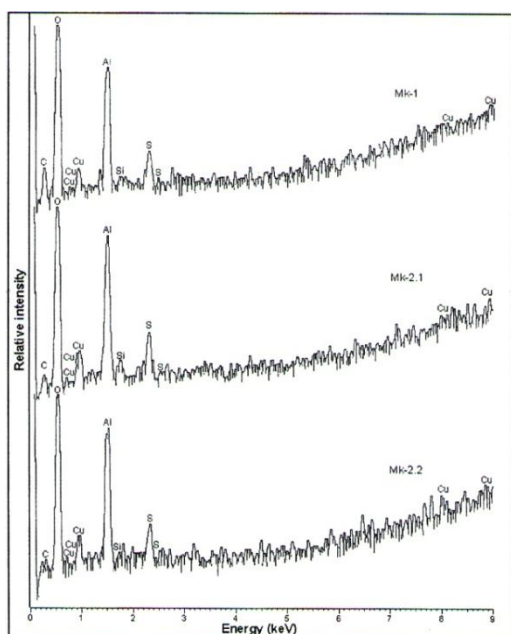
Слика 35. Река Крива Лакавица (Bermanec et al, 2005).

Figure 35. Kriva Lakavica River (Bermanec et al, 2005).



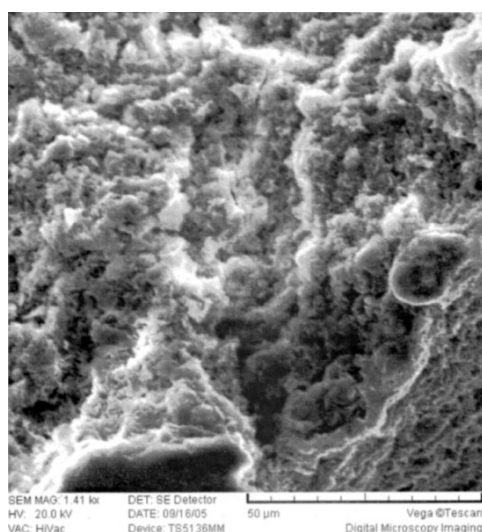
Слика 36. XRD модели од истражните примероци на стрим седиментите од реката Крива Лакавица го покажува минералниот состав (C – халкоалунит, M – 10 Å – филосиликат) (Bermanec et al, 2005).

Figure 36. XRD patterns of the investigated samples of the stream sediments from the Kriva Lakavica River showing the mineral composition (C – chalcoalumite, M – 10 Å – phyllosilicate) (Bermanec et al, 2005).



Слика 37. EDS спектар од истражуваните примероци од река Крива Лакавица (Bermanec et al, 2005).

Figure 37. EDS spectra of the investigated samples from the Kriva Lakavica River (Bermanec et al, 2005).



Слика 38. SEM слика од еден испитуван примерок покажувајќи типична површинска морфологија (Bermanec et al, 2005).

Figure 38. SEM image of an investigate sample showing typical surface morphology (Bermanec et al, 2005).

8.5.2.2. Предвидување на составот на рудничките води

Предвидувањето на квалитетот на рудничките води претставува битен дел од експлоатацијата и од подготовката на минералните сировини. Податоците од статичките и од кинетичките тестови за сулфидниот отпад даваат информација за способноста на отпадот да создава киселина. Но предвидувањето на составот на рудничките води е многу сложена задача и останува голем предизвик за научниците и за изведувачите на рударските работи (Younger et al. 2002). Како и да е, изведувачот на рударските работи би требало однапред да знае: а) каков е составот на рудничката вода во самото работилиште; б) дали рудничката вода може да се испушти без пречистување; в) дали рудничката вода ќе ги достигне границите на прелевање и г) дали рудничката вода ќе се закисели и кога ќе се закисели (Lottermoser, 2007).

8.5.2.2.1. Геолошко моделирање

Геолошкиот пристап е почетен чекор во проценувањето на квалитетот на рудничките води за конкретно рудно наоѓалиште. Слично на геолошкото моделирање за сулфидниот отпад, геолошкото моделирање на рудничките води подразбира категоризирање на рудните наоѓалишта и изведување заклучок за проблемите што би настанале поврзани со квалитетот на водата (Plumlee et al. 1999). Логиката зад оваа метода е дека ист вид рудни наоѓалишта содржат ист вид рудоносни и примесни минерали, што значи исти киселотворни и киселоразблажувачки минерали. Како последица на тоа, рудничките води би требало да се слични во однос на pH – вредноста и на вкупната содржина на метали. Ваквата емпириска поделба го ограничува можниот опсег на pH – вредноста и опсегот на металните концентрации што би се развиле во рудничките води. Но оваа техника не може да се примени за да се предвиди точниот состав на рудничките води (Plumlee et al. 1999).

8.5.2.2.2. Математичко и компјутерско моделирање

Постојат едноставни математички модели и компјутерски алатки што помагаат во предвидувањето на хемијата на водите во рударското работилиште. Сите математички и компјутерски модели што во моментот се на располагање имаат свои ограничувања и се потпираат врз теренски и врз лабораториски податоци добиени од цврстиот руднички отпад и од рудничките води. Со други зборови, секое моделирање ќе биде толку добро колку што се добри податоците употребени за добивање на тој модел (Lottermoser, 2007).

Едноставен математички модел за предвидување на хемијата на прокапните води од купот отпадна карпа ни даваат Морин и Хат (1994). Овој емпириски модел дава груба процена на идната хемија на водата што го напушта купот отпадна карпа. Зема предвид неколку чинители, меѓу кои:

1. Стапката на создавање метали, неметали, киселост и алкалност од единица маса од карпата при кисели и при pH – неутрални услови;
2. Обемот на протекот на водата низ купот отпад врз основа на продирањето на врнежите;
3. Времето поминато помеѓу два водоносни настани;
4. Времето на престој на водата во купот отпадна карпа и
5. Уделот на рудната карпа во купот измиен со протечната вода.

Да го примениме математичкиот модел на Морин и Хат (1994) за предвидување на хемијата на прокапните води врз куп отпадна карпа кој е долг 600 m, широк 300 m и висок 20 m, и содржи 6,5 Mt сулфиден руднички отпад. Долгорочната стапка на производство на Cu е добиена со помош на податоци од кинетички тестови и изнесува 5 mg/kg неделно (чинител 1). Врнежите паѓаат секој втор ден и создаваат продирање од 1 mm. Таквото навлегување на водата се претвора во 180.000 l вода по површината на купот отпадна карпа (чинител 2). Поминатото време помеѓу врнежите и продирањето на водата се претпоставува дека одговара на времето меѓу секои два настана на продирање на водата и изнесува два дена (чинител 3). Како последица на ова, отпадната карпа насобира 1,4 mg/kg Cu помеѓу настаните (5 mg/kg на 7 дена \times 2 дена = 1.4 mg/kg Cu). Времето на престој на водата во отпадната карпа, исто така, се смета дека трае 2 дена (чинител 4), а уделот на вкупната отпадна карпа измиена со навлезената вода се претпоставува дека е 10% (чинител 5). Според тоа, предвидената концентрација на Cu во прокапните води од отпадната карпа ќе изнесува 506 mg/l ($1.4 \text{ mg/kg Cu} \times 6.5 \text{ Mt} \times 10\%$) / 180.000 l = 506 mg/l).

И додека такви поедноставени математички модели даваат одреден увид во хемијата на прокапните води, сложените геохемиски постапки што се случуваат во рудничката вода мора да се моделираат со помош на компјутерски софтвер (Gerke et al. 2001). Постојат компјутерски програми што вршат моделирање на геохемиските бази на податоци, на рамнотежата на масите, на заситеноста на секундарните минерали, на фазните дијаграми, на видообразбата, на урамнотежувањето, на реакциите и на тековите (Perkins et al. 1997). Секоја компјутерска алатка е развиена за поинакви цели. Секој геохемиски модел се потпира врз точни и потполни податоци. Меѓу параметрите што се внесуваат се и составот на водата, минералогиската, бактериското дејство, реактивната површина, температурата, расположливоста на кислородот, рамнотежата на водата, составот и градбата на купот отпадна карпа, податоците од тестирањето на ќелијната влажност и столбот на излужување, како и термодинамичките податоци (Perkins et al. 1997).

Предвидените концентрации за поединечните метали, полуметали и анјони во рудничките води добиени по пат на компјутерски геохемиски модели треба да се споредат со реалната хемија на рудничките води измерена на терен или добиена со кинетичко тестирање. Програмите за геохемиско моделирање на

водите, исто така, се способни да ги пресметаат показателите за минерално заситување и да ги препознаат минералите што ја создаваат или пак, што ја ограничуваат концентрацијата на состојките во растворот. Во средини со ниска рН – вредност, голем број метали се придвижуваат и се среќаваат во концентрации доволни за да започне сталожувањето на секундарните минерали. Атсорпцијата, исто така, е важна геохемиска постапка што се одвива во овие води. Способноста за сталожување и за атсорпција во киселиот систем треба да се пресмета со помош на компјутерски софтвер (Smith 1999). Компјутерските програми се користат за предвидување на сталожувањето на секундарните минерали во рудничките води. Овие предвидени минерални сталожувања треба да се проверат по пат на споредба со секундарните минерали што навистина се откриени во АМД-средината.

Моделирањето не претставува егзактна наука. Неговата примена поседува многубројни недостатоци, недоречености и ограничувања, а добиените пресметки се, во најмала рака, доброзасновани нагаѓања (Nordstrom and Alpers 1999a). Ниту една програма не би требало да се користи за предвидување на точниот состав, туку таа може да се употребува за подобрување на нашето разбирање за геохемиските постапки и за споредување на можните сценарија за руднички води (Perkins et al. 1997).

8.5.2.3 Еколошки последици од рудничките води и стратегии за нивно управување применети во рудникот Бучим

Рудничките води од јаловинските брани, одлагалиштата на руднички отпад, излужените купови и од рудните резерви не треба да се испуштаат надвор од рударските средини зашто содржат суспендирани цврсти честички и растворени загадувачи, како што се киселините, солите, тешките метали, полуметалите и сулфатите. Ненадгледуваното испуштање на АМД – водите во околната средина може да влијае на површинските води, на водниот жив свет, на почвите, на тињата и на подземните води (Lottermoser, 2007).

Штом еднаш ќе започне, постапката на АМД станува непрекинат и потенцијално тежок извор на загадување од рудникот, кој може да истрае долго по запирањето на рударските работи (Lottermoser, 2007). Напуштените стари рудници што се уште испуштаат АМД – води се голем трошок за голем број влади во светот. Обврските за старите АМД низ светот се проценува дека изнесуваат

4.000 милиони долари во Канада, 2.000-3.500 милиони долари во САД, 6.000 милиони долари за рудниците на ураниум во поранешна Источна Германија, 300 милиони долари во Шведска и 500 милиони долари во Австралија (Hargies 1997). Вкупните светски обврски врз основа на АМД најверојатно преминуваат 10.000 милиони американски долари. Само во Соединетите Американски Држави за пречистување на АМД – водите рударското стопанство секој ден троши над 1 милион долари (Brown et al. 2002). Пораката е јасна: секогаш е многу поскапо и многу потешко да се решаваат АМД – проблемите откако веќе еднаш ќе се појават отколку да се надгледува нивното создавање по пат на технологии за спречување на сулфидната оксидација (Lottermoser, 2007).

Од тие причини преку примерот на рудникот Бучим ќе ги прикажеме основните измени кај површинските и подземните води при експлоатација на цврстите минерални сировини, како и стратегиите за управување со рудничките води.

Според националниот план за управување со отпад, подготвен од Министерството за животна средина и просторно планирање (МОЕР), во 2005 год., вкупната количина на отпад кој е лоциран во рамките на концесиониот простор на рудникот Бучим е 196.000.000 t, површината покриена со отпад е 900.000 m², што значи дека значителни количини на рудничка и флотациска јаловина се акумулирани во пошироката рударска област.

Покрај цврстиот отпад, отпадни води се генерирани како отпадни води од флотација, кисели руднички дренажни отпадни води и отпадни води излужени од површинскиот коп. Прашината од флотациската брана е отпадот што го загадува воздухот.

Водите во Тополничка Река, Маденска Река и Крива Лакавица се исто така погодени, како и талозите во речните сливови и површинските почви.

Следењето на рудничките води во голема мера се заснова на анализа и на мерење на подземните, шуплинските и на површинските води на подолг период зашто нивната хемија обично се менува со текот на времето (Lottermoser, 2007).

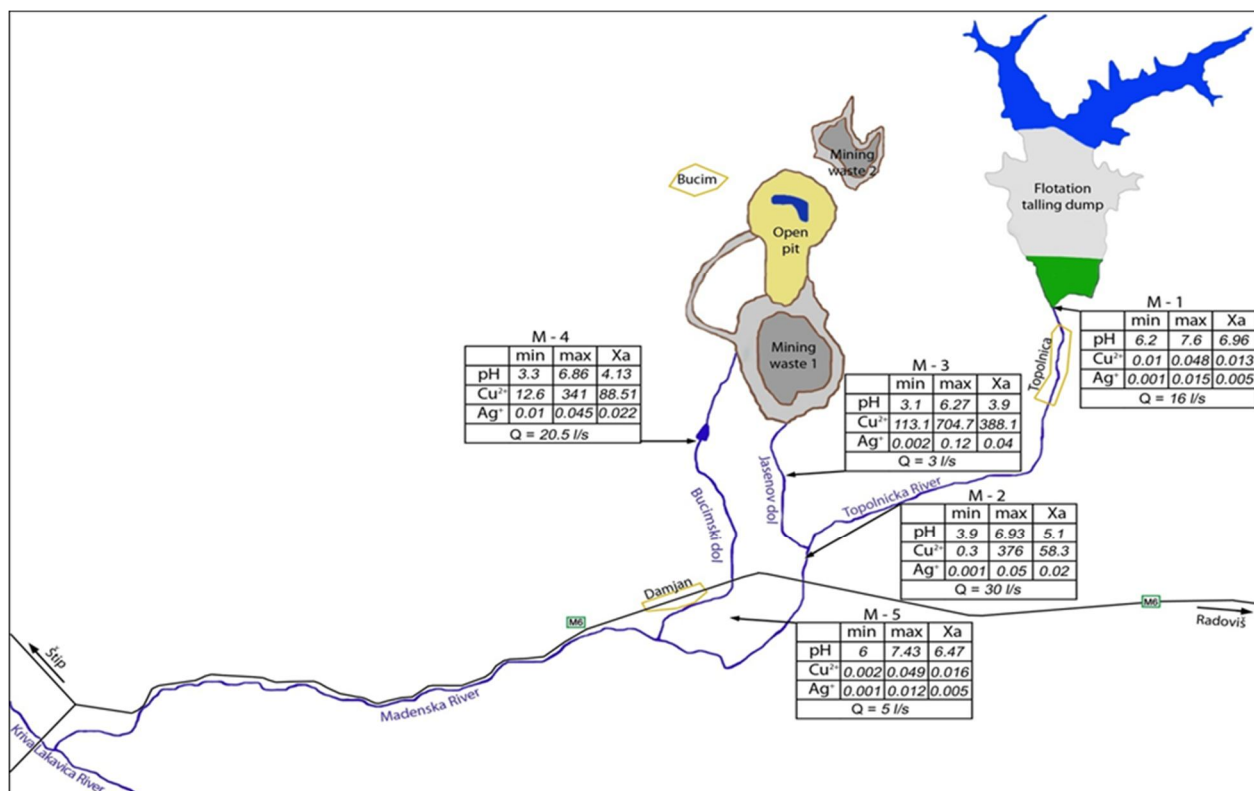
Следењето на водите во рударското работилиште и близу до него е потребно за: а) да ги одреди природните појдовни состојби; б) да го препознае раното присуство на растворени, или суспендирани состојки, или промените кон нив; в) да се погрижи испуштената вода да исполнува одредени стандарди за квалитет на водата; г) да го заштити квалитетот на водените сировини во

околината и д) да обезбеди потврда дека мерките за надгледување на АМД од сулфидната оксидација дејствуваат согласно намената (Lottermoser, 2007). Утврдувањето на појдовните податоци е особено важно зашто некои сулфидни рудни тела е можно да претрпеле природна оксидација пред да започнат рударските работи. Подземните и површинските води во овие средини може природно да се збогати со сулфати, метали и со полуметали. Од суштинска важност е да се знае хемијата на водите, на почвите и на тињата во даденото подрачје пред започнување на рударските работи. Во спротивно, надлежните власти може погрешно да протолкуваат дека затекнатите природни геохемиски промени се последица на рударењето и да наметнат непотребна (и неправична) поправка на состојбите.

Со цел следење на влијанието на работата на рудникот Бучим врз површинските и подземните води, како реципиент на отпадните води од рудникот, ДПТУ „Бучим“ врши редовен мониторинг на квалитетот на овие води. Мониторингот се базира на месечно земање примероци на површински проточни води од 6 локации (М – 1 колектор од хидројаловиште – с. Тополница; М – 2 Тополничка Река пред мостот на патот Штип – Радовиш; М – 3 Бучимско Езеро, истек од брана; М – 4 површинска вода од коп, Јасенов Дол; М – 6 Маденска Река кај Пилав Тепе и М – 7 Маденска Река на патот за Ново Село) и примероци на подземна вода од 1 локација (М – 5 Бунарска вода, пумпна станица на рудникот Бучим) (слики 39 и 40).

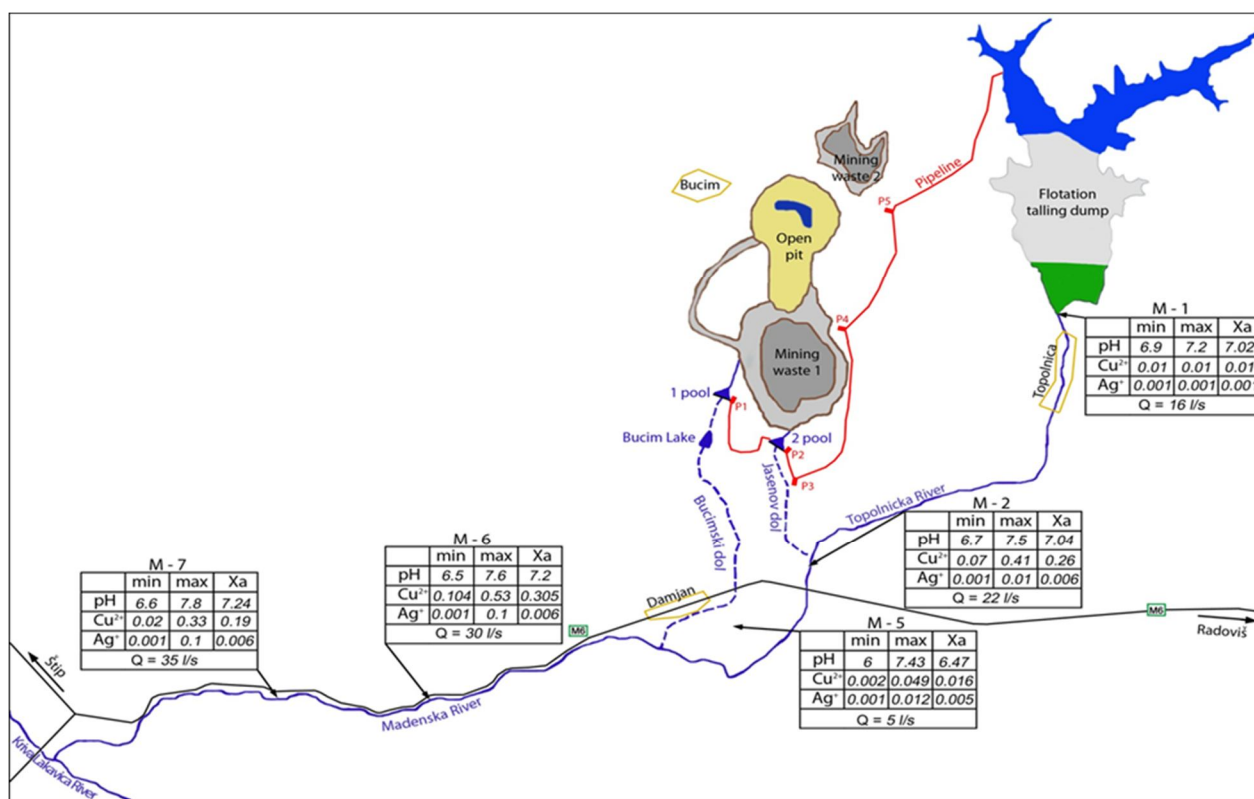
Во контекст на погоре кажаното, а со цел да се изврши оценка на ризикот врз површинските и подземните води беа собрани **месечните извештаи од хемиските и геохемиските испитувања на мостри од проточна и бунарска вода од околината на рудникот Бучим, Радовиш земени во период од 3 годин** (2008, 2009 и 2010 год.). При тоа со нивна анализа се утврдени:

1. Карактеристики на отпадните води од флотациската јаловина, рудничката јаловина и излужените води од површинскиот коп, како и квалитетот на водите во најблиските реки, Тополничка Река и Маденска Река во периодот пред и после имплементацијата на активностите од проектот на UNDP за собирање и пренасочување на рудничките води кон хидројаловиштето.
2. Карактеристики на подземните води испитани од пумпната станица на рудник Бучим лоцирана во Дамјанско Поле.



Слика 39. Шематски приказ на мерни места за површински и подземни води во сливно подраја на р.Тополница за периодот 01.2008 – 07.2010.

Figure 39. Diagramic presentation of measuring places for surface and underground waters in fluvial areas of the river Topolnica for the period 01. 2008 – 07. 2010.



Слика 40. Шематски приказ на мерни места за површински и подземни води во сливно подраја на р.Тополница и р. Маденска за периодот 07.2010 – 12.2010.

Figure 40. Diagramic presentation of measuring places for surface and underground waters in fluvial areas of the river Topolnica for the period 07. 2010 – 12. 2010.

8.5.2.3.1 Стратегии за управување со рудничките води во Бучим

Во рудниците сета загадена вода треба да се осигура со помош на стратегија за управување со водите. Овие стратегии имаат за цел да ја заштитат водената средина и да го намалат количеството на вода на која ќе ѝ биде потребно пречистување. Зависно од местоположбата или од климата во рударското работилиште, се применуваат различни стратегии (SMME, 1998; Environment Australia, 1999). Многубројни се техниките со кои се намалува количеството рудничка вода: а) пресретнување и пречистување на површинските води по пат на изградба на брани низводно; б) пренасочување на прелевањето од ненарушените каптажи; в) максимизирање на рециклирањето и на повторната употреба на водите; г) сегрегација на типови вода според различниот квалитет; д) контролирање на испуштањето во блиските води; ё) прскање со вода врз одредени делови од подрачјето на рудникот; е) употреба на испарувачки езерца и ж) поставување суви покривки врз сулфидниот отпад за да се спречи продирањето на атмосферската вода. Овие стратегии за управување со водите ќе го намалат количеството на потенцијалните АМД – води (Lottermoser, 2007).

Во рамки на Програмата за развој на Обединетите нации (UNDP), како дел од Регионалната програма за заштита на животна средина за Западен Балкан - **„Зајакнување на капацитетите на земјите од Западен Балкан за разрешување на проблемите во животната средина преку ремедијација на најприоритетните жешки точки“**, во периодот 2009 – 2010 беше имплементиран проектот „Одржливо расчистување и управување со загадувањето во рудниците Бучим и Лојане“. Едно од прашањата кое беше третирано со овој проект беше проблемот на загадување на површинските води во околината на рудникот со води со висока содржина на бакар кои потекнуваат од постоечкото одлагалиште за рудничка јаловина во Бучим. Во насока на изнаоѓање решение за правилно управување со овие води, во рамките на проектот беше изготвена Студија за изводливост и изготвување на Основен проект за мерки за заштита на водите во рудникот Бучим.

Студијата за изводливост и техничкиот проект - мерки за заштита на водите во рудникот Бучим разработува две главни меѓусебно поврзани задачи:

- прва задача: Оценка на изводливост
- втора задача: Главен технички проект

Како резултат на имплементацијата на основниот проект, изградена е следната инфраструктура:

- изградба на Брана 1 (означена со Д1) со изградба на таложник (слика 41);
- гравитационен HDPE цевковод PL1, Ø 200 со должина $L=1.511,5$ m, што ќе ги одведува загадените води од браната 1 до браната 2 во Јасенов Дол;
- изградба на Брана 2 (означена со Д2) со изградба на таложник (слика 41);
- гравитационен HDPE цевковод PL2, Ø 250 со должина $L=283,7$ m, што ќе ги одведува загадените води од Браната 2 до Пумпна станица ПС1;
- ПС1-Пумпна станица 1 е проектирана да ја одведува водата преку PL3 до резервоарот од Пумпна станица 2 со волумен од $V=100\text{ m}^3$;
- HDPE потисен цевковод PL3, Ø 250 со должина $L=1.432$ m, кој ќе ги одведува загадените води од ПС1 до ПС2;
- ПС2-Пумпна станица 2 е проектирана да ја одведува водата преку ПЛ4 и ПЛ5 до водната комора лоцирана во близина на резервоарот за технолошка вода и потоа во одлагалиштето;
- HDPE цевковод под притисок PL4, Ø 200 со должина $L=821$ m, што ќе ги одведува пречистените води од PS2 до постоечките резервоари за технолошка вода и
- HDPE цевковод под притисок PL5, Ø 250 со должина $L=588$ m, што ќе ги одведува пречистените води од PS2 до депонијата за јалови карпести маси.

Имплементацијата на овој проект беше спроведена со значително финансиско учество на рудникот Бучим. Како резултат на овие активности, високо загадените дренажни води од Бучимски и Јасенов Дол беа пренасочени кон хидројаловиштето (слика 39 и 40). На тој начин, со привремено решение, проблемот со загадувањето на површинските води на реките Тополница, Маденска и Крива Лакавица бил решен.

Зафаќањето и одведувањето на овие води во хидројаловиштето претставува привремено, но не и конечно решение за постоечкиот проблем со загадување на површинските води од околината.

Во студијата на изводливост (СИ) беа извршени анализи на повеќе алтернативи од аспект на изводливост и за понатамошна разработка на ниво на основен проект е избрана т.н. Варијанта II.2. Целите на овој основен проект се во врска со изградба на објекти за собирање и управување со загадените води, и опфаќаат:

(i) Изградба на објекти за собирање и одведување на загадените подземни и површински води околу одлагалиштето на карпести маси во Јасенов Дол и Бучимски Дол - брани, таложници и гравитациони цевководи до ПС1, како што е усвоено во Варијанта II.2 и

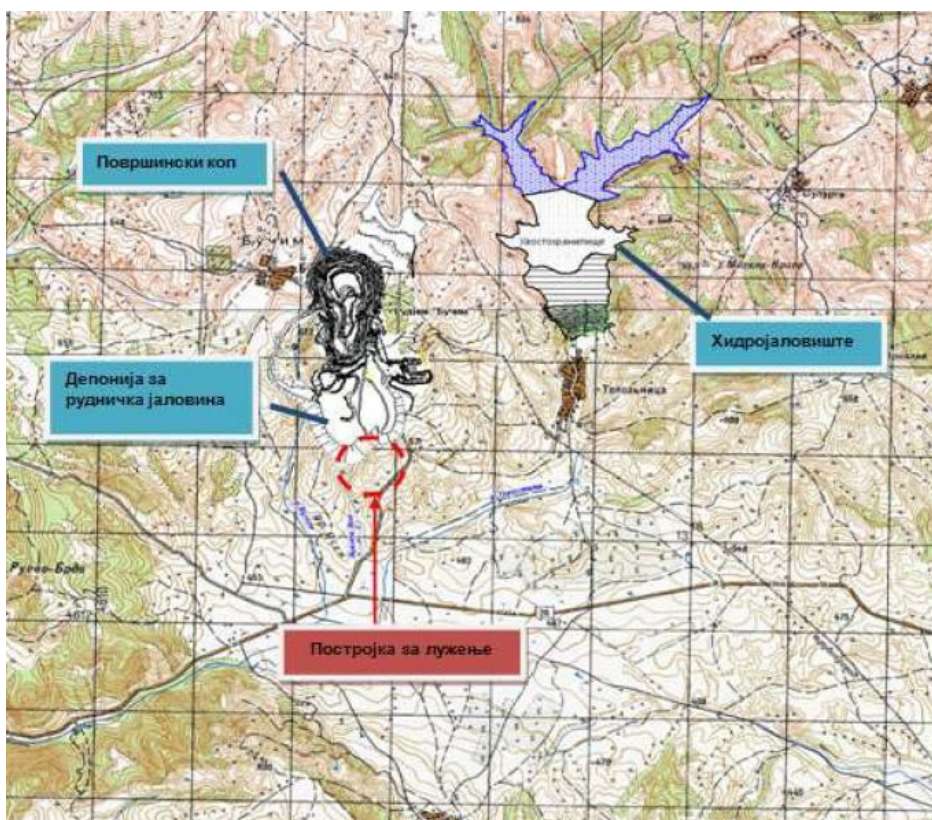
(ii) Изградбата на новата постројка за лужење на бакарни руди и добивање на катоден бакар во рамки на рудникот Бучим ќе резултира со искористување на концентрациите на бакар што се содржат во дренажните води од коповското јаловиште. Овој проект претставува продолжение на започнатите активности за конечно решавање на проблемот со загадување на површинските води во околината на Бучим со загадените дренажни води.

Локација на постројката за лужење е во состав на наоѓалиштето Бучим, дел од рудното поле Бучим. Локацијата е со неправилна форма и се простира на нерамен терен, со површина од околу 1,6 km², веднаш под постоечкото рудничко одлагалиште (слика 42).



Слика 41. Акумулација на брана Д1(1 и 2), на брана Д2 (3) и влез на води од Д1 во Д2 (4).

Figure 41. Accumulation on the dam D1 (1 and 2), on the dam D2 (3) and entrance of waters from D1 into D2 (4).



Слика 42. Макролокација на постројката за лужење.
Figure 42. Macrolocation of the plant for leaching.

8.5.2.3.2 Квалитет на површинските отпадни води пред и после имплементацијата на проектот на UNDP

Главните извори на загадување на површинските води се јаловините од операциите на:

- **Површинската експлоатација на рудите на бакар и циркулацијата на рудничката вода низ рударските активности**, при што се создадени услови за интензивна оксидација на пиритот и другите сулфидни минерали во прв ред минерали на бакар. Притоа водата се обогатува со поедини јони, се покачува содржината на SO_4 и вкупното Fe, содржината на металите на Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mo и др. и тоа во концентрации во кои овие води не можат да се вбројат во ниту една постоечка класификација на вода во поглед на квалитет за потребите на водоснабдување на населението, земјоделството и др.

Неконтролираното испуштање на овие води во површинските водени текови доведува до загадување на површинските води, а преку нив и на подземните води. Во периодот пред имплементацијата на активностите од проектот на UNDP од активниот рудник за бакар Бучим во нашата земја рудничките води се испушта директно во површинските текови.

Во непосредна близина на рудникот Бучим се наоѓаат следните хидролошки структури:

- *Бучимско Езеро*, западно од рудничкиот коп, лоцирано во неговата непосредна близина (слика 43).

Дренажни води од коповско одлагалиште

Овие води се состојат од атмосферски води кои дотекуваат од повисоките делови над коповското одлагалиште (стопански двор на рудникот, атар на село Бучим) и минуваат низ одлагалиште; дождовни води кои минуваат низ одлагалиште и истекуваат надолу и подземни води кои се инфилтрираат низ одлагалиште.

Бучимски Дол. Пред започнувањето со работа на рудникот, бил изграден дренажен систем/колектор заедно со канали околу периметарот на локацијата предвидена за коповско одлагалиште. Овој систем собира дел од дренажните води од одлагалиштето и ги насочува во Бучимски Дол. Покрај овие води, овој дол го сочинуваат и атмосферските води пренасочени од површинскиот коп и подземните води под одлагалиштето. Со последните измени, водите од дното на копот се испумпуваат во базените за технолошка вода бидејќи истите може да се искористат. Овие води содржат концентрации на бакар (30-45 mg/l), ниска pH вредност (3.6 – 5.5) и со просечен проток од 15 – 20 l/s (табела 11).

- *Јасенов Дол*. Дел од атмосферските и подземните води што не се зафаќаат со горе споменатиот дренажен систем, истекуваат во Јасенов Дол кој минува под основното одлагалиште и излегува под самото одлагалиште. Започнувајќи од некаде на кота 690 m, Јасенов Дол, покрај овие води, ги прифаќа и атмосферските и комуналните води од стопанскиот двор (кругот на фабриката). Овие води, при своето движење минуваат низ/под телото на одлагалиште и се влеваат во реката Тополница. Овој водотек има должина од околу 900 m до влевање во Тополничка Река. Содржината на бакар во овие води е многу висока (450-850 mg/l), со pH вредност од околу 3,4 - 4,5 и просечен проток од околу 5-20 l/s (табела 12).

До неодамна, водите од Бучимски и Јасенов Дол се влеваа во Маденска Река. Но, со имплементација на активности од проектот на UNDP, водите од Бучимски Дол собрани во акумулација со бетонска брана Д1, со помош на пумпна станица се носат до акумулација на брана Д2 каде што се

собираат водите од Јасенов Дол, од каде пак заедно се носат до хидројаловиштето, како привремено решение.

- **Флотација**, што се изведува со движење на огромни количества вода, која содржи и флотирачки агенси и излужени/суспендирани остатоци од флотираната ситно издробена руда.

Дел од оваа вода (табели 13 и 14) се испушта непрочистена од флотациското езеро од т.н. колектор и последователно ги загадува речните сливови.



Слика 43. Бучимско Езеро (лево) и Бучимски Дол, (формирање на Бучимски Дол, спој на колектор и дренажни води под коповско јаловиште) (десно).

Figure 43. Bucim lake (left) and Bucim Valley, (forming of the Bucim Valley, juncture of a collector and drainage waters under the kopov wastage) (right).

Од краткиот преглед на резултатите и нивната споредба со максимално дозволените вредности за мерно место 4 (Бучимско Езеро, истек од брана) дадени во табела 11, се гледа дека од 10 споредени карактеристики на отпадните води – излужени од површинскиот коп и дренажните води од одлагалиштето сите ги надминуваат дозволените во барем една од трите вредности (аритметичка средина, минимум и максимум), а 4 од 10 споредени карактеристики се надвор од дозволениот опсег за сите три вредности.

Отпадните води од површинскиот коп и дренажните води од одлагалиштето се многу загадени. Овие води (особено атмосферските кои се побогати со кислород) при своето движење доаѓаат во контакт со карпи кои содржат лесно растворени материи, пред се сулфидни минерали на бакар (халкопирит најчесто пратен од пирит и магнетит). Во тој контакт доаѓа до оксидација на сулфидните минерали со што се намалуваат рН вредностите до 3.3 (слика 48), а со што се зголемува концентрацијата на бакарот и другите присутни метали. Овие води се карактеризираат со значително зголемена содржина за растворени и суспендирани материи.

Табела 11. Дескриптивна статистика на вредностите од хемиските и геохемиските испитувања на мостри од проточна вода за мерно место М – 4 (Бучимско Езеро, истек од брана) по месеци (период 01.2008 – 07.2010) (n=31).

Table 11. Descriptive statistic of the values from the chemical and geochemical researches of samples from leaking water for measuring place M – 4 (Bucim lake, leakage from dam) in months (period 01.2008 – 07. 2010) (n=31).

Параметри/ Parameters	X_a	X_g	Md	min	max	s	CV	МДК III класа/ MKD 3 rd class	Број на примероци над граничните вредности/ Number of samples over the border values
Температура/ Temperature, °C	15.25	13.30	14.4	4	27	7.35	48.22	-	-
pH	4.13	4.90	4	3.3	6.86	0.65	15.83	6.0 – 6.3	30 под/ under 6.0 1 над/over 6.1
ХПК _{KMnO4} , mg/l	10.42	10.14	10.96	6.2	13.21	2.27	21.76	5.01 – 10.0	20
Вкупен сув остаток при/ Total dry leftover at 105 °C, mg/l	9749.9	7605.9	6624	1975	29722	7257.6	74.44	-	-
Растворени материи/ Solvated matters, mg/l	9340.4	7225.9	6389	1829	28874	7126.9	76.30	1000	31
Суспендирани материи/ Suspended matters, mg/l	597.52	216.75	195	28	8430	1489.8	257.07	30 – 60	27
Бакар/ Copper, Cu^{2+} , mg/l	88.51	60.80	51.6	12.6	341	83.11	93.9	0.05	31
Сребро/ Silver, Ag^{2+} , mg/l	0.022	0.021	0.022	0.01	0.045	0.0074	33.83	0.02	19
Амонјак/ Ammonia, NH_4^+ , mg/l	10.25	3.36	4.32	0.015	137.67	24.06	234.78	10.0	7
Нитрати/ Nitrates, NO_3^- , mg/l	12.84	12.49	12.34	6.81	25.2	3.22	25.08	15.0	5
Нитрити/ Nitrites, NO_2^- , mg/l	0.055	0.017	0.01	0.001	0.67	0.126	227.60	0.5	1
Вкупни фосфати/ Total phosphate, PO_4^{3-} , mg/l	0.035	0.021	0.022	0.001	0.23	0.043	123.21	0.0071 – 0.01 0.011 – 0.02*	24

*-езерска вода и акумулации; броевите маркирани со црвено се надвор од опсегот на дозволените вредности.

n – број на мерења; X_a – аритметичка средина; X_g – геометриска средина; Md – медијана; min – минимум; max – максимум; s – стандардна девијација; CV – коефициент на варијација (%).

*lake water and accumulations; the numbers marked in red are out of the frame of the allowed values.
n – number of measurements; X_a – arithmetical mean; X_g – geometrical mean; Md – median; min – minimum; max – maximum; s – standard deviation; CV – coefficient of variation.

Од друга страна, зголеменото присуство на суспендирани материи овозможува пренос на железо, алуминиум, тешки метали, полуметали и други елементи во цврст облик на големи растојанија од рудничките средини (Schemel et

al. 2000). Слабата кристална природа на суспендираните честички, исто така, допушта ослободување на вградените, или атсорбираните елементи назад во водениот столб. Ваквото ослободување може да се покрене поради бактериска активност, редукција или поради фотолитичко распаѓање (McKnight et al. 1988).

Во случајот на бакарот, максимално измерената концентрација е повеќе од 6500 пати повисока од максимално дозволената концентрација, просечната вредност е исто така екстремно висока – 1770 пати повисока.

Просечниот проток на оваа вода е 20,5 l/s (1771 m³/ден), така што количество од 156,7 kg бакар се испушта дневно во Маденска Река и следните сливови. Годишното оптоварување достигнува повеќе од 57 тони бакар само од овој извор на контаминација.



Слика 44. Карактеристично зелено обојување на киселите руднички води кои дренираат низ/под депонијата на рудничка јаловина а истекуваат во Јасенов Дол.
Figure 44. Characteristic green coloring of the acidulous mining waters which drain through/under the refuse dump of mine wastage and leak in Jasenov Dol.

Од краткиот преглед на резултатите и нивната споредба со максимално дозволените вредности дадени во табела 12, се гледа дека од 10 споредени карактеристики на дренажната вода од депонија на рудничка јаловина бр. 1 во Јасенов Дол (слика 44) сите ги надминуваат дозволените во барем една од трите вредности (аритметичка средина, минимум и максимум), а 4 од 10 споредени карактеристики се надвор од дозволениот опсег за сите три вредности.

Отпадните води од киселата рудничка дренажа од депонијата на рудничката јаловина бр. 1 се уште позагадени. Збиениот тип на издани во рудничката јаловина на рудникот за бакар Бучим се одликуваат со специфично формиран хемиски состав на подземните води под влијание на интензивна оксидација на

сулфидните минерали. Тој процес е дури поинтензивен со оглед на фактот што во оваа депонија се депонирани и големи количества на оксидна руда, која во минатото се сметала за јаловина. Имено, рудничките јаловишта претставуваат ниско процентни бакарни руди, во случајот на рудникот Бучим истите во моментот се користат во процесот на лужење и на добивање катоден бакар.

Табела 12. Дескриптивна статистика на вредностите од хемиските и геохемиските испитувања на мостри од проточна вода за мерно место М – 3 (Дренажна вода од депонија на рудничка јаловина бр. 1, Јасенов Дол) по месеци (период 01.2008 – 07.2010) (n=31).

Table 12. Descriptive statistic of the values from the chemical and geochemical researches of samples from leaking water for measuring place M – 3 (Drainage water from waste damp of mine wastage no. 1, Jasenov Dol) in months (period 01.2008 – 07. 2010) (n=31).

Параметри/ Parameters	X_a	X_g	Md	min	max	s	CV	МДК III класа/ MKD 3 rd class	Број на примероци над граничните вредности/ Number of samples over the border values
Температура/ Temperature, °C	15.52	13.69	17	4	28	7.07	45.59	-	-
pH	3.91	3.87	3.8	3.1	6.27	0.58	14.98	6.0 – 6.3	30 под/under 6.0
ХПК _{KMnO4} , mg/l	12.36	12.13	10.3 2	8.9	20.23	2.48	20.09	5.01 – 10.0	24
Вкупен сув остаток при/ Total dry leftover at 105 °C, mg/l	15031	13626.4	15625	4280	34745	6244.5	41.54	-	-
Растворени материи/ Solvated matters, mg/l	15683	13753	15280	4095	45477	8287.1	52.84	1000	31
Суспендирани материи/ Suspended matters, mg/l	330.03	292.01	329	73	929	163.18	49.4	30 – 60	31
Бакар/ Copper, Cu^{2+} , mg/l	388.15	346.83	364.5	113	704.7	165.17	42.55	0.05	31
Сребро/ Silver, Ag^{2+} , mg/l	0.04	0.03	0.025	0.002	0.12	0.029	73.95	0.02	27
Амонјак/ Ammonia, NH_4^+ , mg/l	7.31	4.85	6.59	0.26	19.25	5.68	77.68	10.0	6
Нитрати/ Nitrates, NO_3^- , mg/l	15.05	13.71	12.97	7.48	50.6	8.93	59.34	15.0	5
Нитрити/ Nitrites, NO_2^- , mg/l	0.059	0.044	0.052	0.004	0.203	0.042	71.26	0.5	0
Вкупни фосфати/ Total phosphate, PO_4^{3-} , mg/l	0.17	0.13	0.168	0.028	0.57	0.108	64.39	0.0071 – 0.01 0.011 – 0.02*	31

*-езерска вода и акумулации; броевите маркирани со црвено се надвор од опсегот на дозволените вредности.

n – број на мерења; X_a – аритметичка средина; X_g – геометриска средина; Md – медијана; min – минимум; max – максимум; s – стандардна девијација; CV – коефициент на варијација (%).

*lake water and accumulations; the numbers marked in red are out of the frame of the allowed values.
n – number of measurements; X_a – arithmetical mean; X_g – geometrical mean; Md – median; min – minimum; max – maximum; s – standard deviation; CV – coefficient of variation.

Во случајот на бакарот, максимално измерената концентрација е повеќе од 14 000 пати повисока од максимално дозволената концентрација, просечната вредност е исто така екстремно висока – 7 760 пати повисока.

Просечниот проток на оваа отпадна вода е ~ 3 l/s ($259.2 \text{ m}^3/\text{ден}$), така што количество од 100,6 kg бакар се испушта дневно во Тополничка Река и следните сливови. Годишното оптоварување достигнува повеќе од 37 тони бакар само од овој извор на контаминација.

Во месец јуни 2010 год. со започнувањето на работа на системот за зафаќање на дренажните води од постоечкото одлагалиште и одведување во хидројаловиштето овој процес на контаминација од овие два основни извори е сопрен.

Од краткиот преглед на резултатите и нивната споредба со максимално дозволените вредности дадени за мерно место М – 1 (слика 45) (колектор од хидројаловиште – с. Тополница) за период 01.2008 год. – 07.2010 год. во табела 13, се гледа дека од 10 споредени карактеристики на отпадните води од флотациското хидројаловиште само пет ги надминуваат дозволените во барем една од трите вредности (аритметичка средина, минимум и максимум), а ниту една од 10 споредени карактеристики не е надвор од дозволениот опсег за сите три вредности.

Додека од краткиот преглед на резултатите и нивната споредба со максимално дозволените вредности дадени за мерно место М – 1 (колектор од хидројаловиште – с. Тополница) за период 07.2010 год. – 12.2010 год. во табела 14, се гледа дека од 10 споредени карактеристики на отпадните води од флотациското хидројаловиште само пет ги надминуваат дозволените во барем една од трите вредности (аритметичка средина, минимум и максимум), а 3 од 10 споредени карактеристики се надвор од дозволениот опсег за сите три вредности. Според овие резултати, воочливо е зголемување на вредностите на одредени мерни параметри (растворени материи, PO_4^{3-}), почнувајќи од јуни 2010 година, што е резултат на започнување на функција на системот за зафаќање на дренажните води од постоечкото одлагалиште и одведување во хидројаловиштето.

Отпадните води од флотациското хидројаловиште се контаминирани, но не во голема мера. Од испитувањето на хемискиот состав на дренажната вода од флотациското хидројаловиште, констатирани се многу специфичности кои во

однос на слабоминерализираните води се одликуваат пред се со зголемена рН вредност и до 7.6 (слика 48) и зголемена содржина на суспендирани материи.

Табела 13. Дескриптивна статистика на вредностите од хемиските и геохемиските испитувања на мостри од проточна вода за мерно место М – 1 (Колектор од хидројаловиште – с. Топлиница) по месеци (период 01.2008 – 07.2010) (n=31).

Table 13. Descriptive statistic of the values from the chemical and geochemical researches of samples from leaking water for measuring place M – 1 (Collector from the flotation tailings damp – village Topolnica) in months (period 01.2008 – 07. 2010) (n=31).

Параметри/ Parameters	X_a	X_g	Md	min	max	s	CV	МДК III класа/ MKD 3 rd class	Број на примероци над граничните вредности/ Number of samples over the border values
Температура/ Temperature, °C	13.75	13.7	14	9	15	1.26	9.2	-	-
pH	6.96	6.9	7	6.2	7.6	0.37	5.3	6.0 – 6.3	27 над/over 6.3
ХПК _{KMnO4} , mg/l	8.10	7.9	8.2	5.6	9.9	1.22	15.1	5.01 – 10.0	0
Вкупен сув остаток при/ Total dry leftover at 105 °C, mg/l	1357.5	1353.3	1317	1179	1605	109.3	8.05	-	-
Растворени материи/ Solvated matters, mg/l	1271.1	1263.1	1271	781	1537	134.4	10.6	1000	30
Суспендирани материи/ Suspended matters, mg/l	83.1	56.2	56	7	466	90.8	109.3	30 – 60	9
Бакар/ Copper, Cu ²⁺ , mg/l	0.013	0.012	0.01	0.01	0.048	0.008	60.5	0.05	0
Сребро/ Silver, Ag ²⁺ , mg/l	0.005	0.003	0.002	0.001	0.015	0.004	84.2	0.02	0
Амонјак/ Ammonia, NH ₄ ⁺ , mg/l	0.73	0.37	0.29	0.058	2.74	0.84	115.9	10.0	0
Нитрати/ Nitrates, NO ₃ ⁻ , mg/l	0.62	0.19	0.21	0.012	4.5	0.9	146.3	15.0	0
Нитрити/ Nitrites, NO ₂ ⁻ , mg/l	0.17	0.11	0.14	0.001	1.17	0.2	116.2	0.5	1
Вкупни фосфати/ Total phosphate, PO ₄ ³⁻ , mg/l	0.025	0.01	0.01	0.001	0.34	0.06	237.03	0.0071 – 0.01 0.011 – 0.02*	9

*-езерска вода и акумулации; броевите маркирани со црвено се надвор од опсегот на дозволените вредности.

n – број на мерења; X_a – аритметичка средина; X_g – геометричка средина; Md – медијана; min – минимум; max – максимум; s – стандардна девијација; CV – коефициент на варијација (%).

*lake water and accumulations; the numbers marked in red are out of the frame of the allowed values.

n – number of measurements; X_a – arithmetical mean; X_g – geometrical mean; Md – median; min – minimum; max – maximum; s – standard deviation; CV – coefficient of variation.

Табела 14. Дескриптивна статистика на вредностите од хемиските и геохемиските испитувања на мостри од проточна вода за мерно место М – 1 (Колектор од хидројаловиште – с. Топлиница) по месеци (период 07.2010 – 12.2010) (n=5).

Table 14. Descriptive statistic of the values from the chemical and geochemical researches of samples from leaking water for measuring place M – 1 (Collector from the flotation tailings damp – village Topolnica) in months (period 07.2010 – 12. 2010) (n=5).

Параметри/ Parameters	X_a	X_g	Md	min	max	s	CV	МДК III класа/ MDK 3 rd class	Број на примероци над граничните вредности/ Number of samples over the border values
Температура/ Temperature, °C	13.2	12.9	14	9	15	2.13	16.2	-	-
pH	7.02	7.02	7	6.9	7.2	0.12	1.7	6.0 – 6.3	5 над/ over 6.3
ХПК _{KMnO4} , mg/l	11.96	11.8	13.01	9.86	13.86	1.71	14.3	5.01 – 10.0	3
Вкупен сув остаток при/ Total dry leftover at 105 °C, mg/l	1580.6	1579.4	1561	1534	1705	63.1	3.9	-	-
Растворени материи/ Solvated matters, mg/l	1494.2	1490.3	1489	1332	1672	107. 7	7.21	1000	5
Суспендирани материи/ Suspended matters, mg/l	86.4	71.2	72	33	202	59.6	68.9	30 – 60	3
Бакар/ Copper, Cu ²⁺ , mg/l	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0.05	0
Сребро/ Silver, Ag ²⁺ , mg/l	0.001	0.001	0.00 1	0.001	0.001	0	0	0.02	0
Амонјак/ Ammonia, NH ₄ ⁺ , mg/l	0.24	0.14	0.22	0.02	0.59	0.2	84.7	10.0	0
Нитрати/ Nitrates, NO ₃ ⁻ , mg/l	1.78	1.01	1.23	0.1	4.18	1.45	81.4	15.0	0
Нитрити/ Nitrites, NO ₂ ⁻ , mg/l	0.05	0.03	0.02	0.01	0.12	0.04	93.9	0.5	0
Вкупни фосфати/ Total phosphate, PO ₄ ³⁻ , mg/l	0.021	0.02	0.021	0.02	0.022	0.001	3.6	0.0071 – 0.01 0.011 – 0.02*	5

*-езерска вода и акумулации; броевите маркирани со црвено се надвор од опсегот на дозволените вредности.

n – број на мерења; X_a – аритметичка средина; X_g – геометриска средина; Md – медијана; min – минимум; max – максимум; s – стандардна девијација; CV – коефициент на варијација (%).

*lake water and accumulations; the numbers marked in red are out of the frame of the allowed values.
n – number of measurements; X_a – arithmetical mean; X_g – geometrical mean; Md – median; min – minimum; max – maximum; s – standard deviation; CV – coefficient of variation.

Во случајот на бакарот, максимално измерената концентрација е пониска од максимално дозволената концентрација, а просечната вредност е исто така пониска за 4 пати од максимално дозволената концентрација.

Просечниот проток на оваа отпадна вода е 16 l/s ($1.382 \text{ m}^3/\text{ден}$), така што количество од 0,02 kg бакар се испуштат дневно во Тополничка Река и сливовите што следат. Годишното оптоварување достигнува околу 0,007 тони на бакар од овој извор на загадување.

Иако е возможно да настане сулфидна оксидација, повеќето јаловински брани на хидројаловиштата остануваат заситени со вода во текот на работниот век. Ова го ограничува преносот на воздух во јаловината и снабдувањето на сулфидните минерали со кислород (Blowes and Ptacek 1994). Дури повеќе, доколку се поплави неоксидирана флотациска сулфидна јаловина, може да се појават наслаги од органски материјал, а на допирот меѓу водата и јаловината може да се развие слој богат со железни и со манганови оксиди. Овие слоеви може да го спречат испуштањето на металите во погорниот воден столб со помош на процесите на адсорпција и на копреципитација (Holmström and Öhlander 1999).

Флотациската јаловина е многу поситнозрнеста и има многу поголема специфична површина (т.е. $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$) достапна за оксидација и за лужење отколку рудничката јаловина претставена од отпадната карпа. Затоа, налетот на АМД во флотациската јаловина може да се случи многу побрзо отколку во рудничката јаловина претставена од отпадните карпи во исто рудно наоѓалиште, но сепак, дробењето и мелењето на сулфидните руди не мора нужно да ја зголеми стапката на оксидација на сулфидните минерали во јаловинските брани. Стапката на создавање АМД во флотациската јаловина се намалува по пат на:

- *еднообразна и ситна големина на зрната*. Флотациската јаловина поседува еднообразна и ситна честична големина, што создава помала пропустливост од таа во рудничката јаловина. Споредено со грубозрнестата рудничка јаловина, флотациската јаловина покажува: а) помало и побавно движење на водата и на кислородот низ отпадот; б) намален допир меѓу сулфидот и кислородот поради бавното движење на кислородот низ отпадот; в) побавно движење на водата и побавно обновување на потрошениот кислород и г) многу бавно прокапување на млазот АМД до излезните места од јаловинската брана зашто општата бавна хидраулична спроводливост на јаловината ќе го одолжи движењето на млазот АМД (Ljungberg and Öhlander 2001). Однесувањето на кислородот и на водата влијае врз длабочината и врз стапката на создавање на АМД. Како последица на тоа, флотациската јало-

вина допушта помала длабочина на активна киселотрошност отколку грубозрнестата рудничка јаловина, а флотациската јаловина побавно создава АМД од грубозрнестата, пропуслива рудничка јаловина во исто рудно наоѓалиште (Mitchell 2000).

- *додавање алкални технолошки хемикалии.* Флотациските јаловини имаат висока рН – вредност поради додавањето на алкални материјали при подготовката на минералните сировини (Craw et al. 1999). Секоја киселина што ќе се создаде може веднаш да се неутрализира со помош на заостанатите алкални технолошки агенси. Флотациската јаловина може да се стабилизира и со додавањето на неутрализирачки материјали, како што се варта, дробениот варовник или димничкиот пепел (Stouraiti et al. 2002).

Токму поради погоре кажаното со реализирњето на проектот на UNDP во јули 2010 год. за зафаќање на киселите дренажни води од постоечкото рудничко одлагалиште и одведување во хидројаловиштето, се постигнува неутрализирање на истите.



Слика 45. Мерно место М1
(Колектор од хидројаловиште - с. Тополница).
Figure 45. Measuring place M1
(Collector of hydrowastage – Village Topolnica).

Карактеристиките на водата во најблиските реки се прикажани во табелите 15 и 16 (за Тополничка Река) и во табелите 17 и 18 (за Маденска Река).

Во реката Тополница директно се влеваат водите од дренажниот систем на флотациското јаловиште, како и сите останати води од зоната на рударските операции. Овој водотек ги прифаќа водите од Јасенов Дол.

Тополничка Река извира од југозападниот дел на планината Плачковица и е десна притока на Крива Лаковица. Речната мрежа, големината на водособириот басен, надморската висина и геолошката структура го определуваат воде-

ниот режим. Водособирниот басен на реката е на надморска висина меѓу 517 и 1057 m, при тоа со најголем дел на висина меѓу 700 и 800 m.

Табела 15. Дескриптивна статистика на вредностите од хемиските и геохемиските испитувања на мостри од проточна вода за мерно место М – 2 (Тополничка Река пред мостот, на патот Штип - Радовиш) по месеци (период 01.2008 – 07.2010) (n=31).

Table 15. Descriptive statistic of the values from the chemical and geochemical researches of samples from leaking water for measuring place M – 2 (Topolnica River before the bridge, on the road Stip – Radovich) in months (period 01.2008 – 07. 2010) (n=31).

Параметри/ Parameters	X_a	X_g	Md	min	max	s	CV	МДК III класа/ MDK 3 rd class	Број на примероци над граничните вредности/ Number of samples over the border values
Температура/ Temperature, °C	13.45	12.2	13.5	4.7	23	5.4	39.9	-	-
pH	5.1	5	5	3.9	6.93	0.8	15.8	6.0 – 6.3	28 под/under 6.0 3 над/over 6.3
ХПК _{KMnO4} , mg/l	9.43	9.4	9.23	7.15	12.03	1.13	12.01	5.01 – 10.0	9
Вкупен сув остаток при/ Total dry leftover at 105 °C, mg/l	3522.4	2840.6	2755	830	12352	2606.6	73.9	-	-
Растворени материи/ Solvated matters, mg/l	3150.6	2435.1	2395	579	12129	2574.6	81.7	1000	27
Суспендирани материи/ Suspended matters, mg/l	373.4	175.7	202	11	5606	962.2	275.7	30 – 60	28
Бакар/ Copper, Cu^{2+} , mg/l	58.3	28.1	43.3	0.3	376	71.5	122.5	0.05	31
Сребро/ Silver, Ag^{2+} , mg/l	0.02	0.01	0.02	0.001	0.05	0.01	56.5	0.02	7
Амонјак/ Ammonia, NH_4^+ , mg/l	1.8	0.98	1.05	0.01	7.35	1.9	102.5	10.0	0
Нитрати/ Nitrates, NO_3^- , mg/l	11.3	9.99	9.7	4.07	49.9	7.9	70.2	15.0	3
Нитрити/ Nitrites, NO_2^- , mg/l	0.09	0.06	0.07	0.001	0.43	0.09	90.1	0.5	0
Вкупни фосфати/ Total phosphate, PO_4^{3-} , mg/l	0.04	0.02	0.02	0.001	0.17	0.04	101.8	0.0071 – 0.01 0.011 – 0.02*	20

*-езерска вода и акумулации; броевите маркирани со црвено се надвор од опсегот на дозволените вредности.

n – број на мерења; X_a – аритметичка средина; X_g – геометричка средина; Md – медијана; min – минимум; max – максимум; s – стандардна девијација; CV – коефициент на варијација (%).

*lake water and accumulations; the numbers marked in red are out of the frame of the allowed values.
n – number of measurements; X_a – arithmetical mean; X_g – geometrical mean; Md – median; min – minimum; max – maximum; s – standard deviation; CV – coefficient of variation.

Табела 16. Дескриптивна статистика на вредностите од хемиските и геохемиските испитувања на мостри од проточна вода за мерно место М – 2 (Тополничка Река пред мостот, на патот Штип - Радовиш) по месеци (период 08.2010 – 12.2010) (n=5).

Table 16. Descriptive statistic of the values from the chemical and geochemical researches of samples from leaking water for measuring place M – 2 (Topolnica River before the bridge, on the road Stip – Radovich) in months (period 08.2010 – 12. 2010) (n=5).

Параметри/ Parameters	X_a	X_g	Md	min	max	s	CV	МДК III класа/ MDK 3 rd class	Број на примероци над граничните вредности/ Number of samples over the border values
Температура/ Temperature, °C	15.8	14.7	13	9	23	6.01	38.1	-	-
pH	7.04	7.03	6.9	6.7	7.5	0.31	4.4	6.0 – 6.3	5 над/over 6.3
ХПК _{KMnO4} , mg/l	12.2	11.9	12.7	9.15	15.8	2.56	21.02	5.01 – 10.0	3
Вкупен сув остаток при/ Total dry leftover at 105 °C, mg/l	1185	1173.6	1160	964	1370	163.3	13.8	-	-
Растворени материји/ Solvated matters, mg/l	1105.8	1096.2	1116	897	1260	143.7	12.9	1000	3
Суспендирани материји/ Suspended matters, mg/l	85.2	80.54	95	44	110	25.9	30.4	30 – 60	4
Бакар/ Copper, Cu^{2+} , mg/l	0.26	0.22	0.28	0.07	0.41	0.13	50.4	0.05	5
Сребро/ Silver, Ag^{2+} , mg/l	0.006	0.004	0.01	0.001	0.01	0.004	68.9	0.02	0
Амонјак/ Ammonia, NH_4^+ , mg/l	0.18	0.085	0.19	0.01	0.4	0.15	83.25	10.0	0
Нитрати/ Nitrates, NO_3^- , mg/l	8.33	7.75	8.54	4.25	11.8	2.9	35.3	15.0	0
Нитрити/ Nitrites, NO_2^- , mg/l	0.11	0.05	0.12	0.01	0.23	0.08	81.1	0.5	0
Вкупни фосфати/ Total phosphate, PO_4^{3-} , mg/l	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0.0071 – 0.01 0.011 – 0.02*	0

*-езерска вода и акумулации; броевите маркирани со црвено се надвор од опсегот на дозволените вредности.

n – број на мерења; X_a – аритметичка средина; X_g – геометриска средина; Md – медијана; min – минимум; max – максимум; s – стандардна девијација; CV – коефициент на варијација (%).

*lake water and accumulations; the numbers marked in red are out of the frame of the allowed values.
n – number of measurements; X_a – arithmetical mean; X_g – geometrical mean; Md – median; min – minimum; max – maximum; s – standard deviation; CV – coefficient of variation.

Од споредбата направена во табела 15 за мерно место М – 2 (слика 46) (Тополничка Река пред мостот, на патот Штип – Радовиш) за периодот 01.2008 – 07.2010, се гледа дека две од 10 споредени карактеристики на водата во

Тополничка Река се во рамките на дозволените, а останатите осум се надвор од границите.

Водите од Тополничка Река се загадени. Концентрацијата на загадувачите варира во текот на годината и зависи од количеството на врнежите од дожд. За време на дождливите периоди се случува процес на разредување и пониски концентрации на загадувачи се измерени, како на пример на 29.01.2009 год. (1,8 mg/l Cu) и 19.02.2010 год. (0.96 mg/l Cu).

Нагло зголемување на концентрацијата на загадувачите е измерена после влезот на отпадните води од киселата рудничка дренажа во Тополничка Река. Така концентрацијата на бакар се зголемува за 25 – 40 пати по влезот на отпадните води од киселата рудничка дренажа.



Слика 46. Проба земена од Тополничка Река пред мостот, на патот Штип – Радовиш во месец Јули 2007 со карактеристично присуство на ленти од влакнести алги што растат во АМД – води (pH = 4.4; Cu во раствор 370 mg/l) (лево), проба земена од истото мерно во месец Октомври 2007 (pH = 5.1; Cu во раствор 80 mg/l) со карактеристично обојување на водата во сино (десно).

Figure 46. Trial taken from Toplicka river before the bridge, on the road Stip – Radovish in July 2007 with characteristic presence of stripes from fiber algae that grow in AMD waters (pH = 4.4; Cu in solution 370 mg/l) (left), trial taken from the same measure place in October 2007 (pH = 5.1; Cu in solution 80 mg/l) with a characteristic coloring of the water in blue (right).

Од споредбата направена во табела 16 за мерно место М – 2 (Тополничка Река пред мостот, на патот Штип – Радовиш) за периодот 07.2010 год. – 12.2010 год., се гледа дека пет од десет споредени карактеристики на водата во Тополничка Река се во рамките на дозволените, а останатите пет се надвор од границите.

Наглото зголемување на концентрацијата на загадувачите е избегнато после влезот на киселите дренажни води од Јасенов Дол во Тополничка Река, поради пренасочувањето на истите од Јасенов Дол во флотациското хидро-

јаловиште. Така концентрацијата на бакар на ова мерно место сега се движи во граници од 0.07 до 0.41 mg/l (слика 49).

Маденска Река (слика 47) – се формира од водите на р.Тополница и водите на Јасенов Дол и Бучимски Дол. Течението на оваа река го следи регионалниот пат Радовиш – Штип. Се влева во р.Крива Лакавица некаде кај мостот кон Неготино, а Крива Лакавица некаде пред Штип се влева во р.Брегалница.

Табела 17. Дескриптивна статистика на вредностите од хемиските и геохемиските испитувања на мостри од проточна вода за мерно место М – 6 (Маденска Река кај Пилав Тепе) по месеци (период 07.2010 – 12.2010) (n=5).

Table 17. Descriptive statistic of the values from the chemical and geochemical researches of samples from leaking water for measuring place M – 6 (Maden river near Pilav Tepe) in months (period 07.2010 – 12. 2010) (n=5).

Параметри/ Parameters	X_a	X_g	Md	min	max	s	CV	МДК III класа/ MDK 3 rd class	Број на примероци над граничните вредности/ Number of samples over the border values
Температура/ Temperature, °C	12.4	11.76	12	8	20	4.22	34.06	-	-
pH	7.2	7.19	7.2	6.5	7.6	0.40	5.62	6.0 – 6.3	5 над/over 6.3
ХПК _{KMnO4} , mg/l	10.99	10.97	9.89	8.69	14.3	2.14	19.44	5.01 – 10.0	2
Вкупен сув остаток при/ Total dry leftover at 105 °C, mg/l	1825.4	1814.8	1748	1622	2218	204.29	11.19	-	-
Растворени материи/ Solvated matters, mg/l	1731.4	1719.4	1733	1473	2102	208.55	12.04	1000	5
Суспендирани материи/ Suspended matters, mg/l	94	58.42	116	15	175	67.16	71.44	30 – 60	3
Бакар/ Copper, Cu^{2+} , mg/l	0.305	0.24	0.24	0.104	0.53	0.19	62.27	0.05	5
Сребро/ Silver, Ag^{2+} , mg/l	0.0062	0.025	0.01	0.00 1	0.1	0.005	74.57	0.02	0
Амонјак/ Ammonia, NH_4^+ , mg/l	0.34	0.13	0.12	0.02	1.22	0.45	134.03	10.0	0
Нитрати/ Nitrates, NO_3^- , mg/l	8.72	7.47	7.08	3.64	18.7	5.25	60.15	15.0	1
Нитрити/ Nitrites, NO_2^- , mg/l	0.072	0.039	0.05	0.01	0.2	0.07	97.97	0.5	0
Вкупни фосфати/ Total phosphate, PO_4^{3-} , mg/l	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0.0071 – 0.01 0.011 – 0.02*	0

*-езерска вода и акумулации; броевите маркирани со црвено се надвор од опсегот на дозволените вредности.

n – број на мерења; X_a – аритметичка средина; X_g – геометриска средина; Md – медијана; min – минимум; max – максимум; s – стандардна девијација; CV – коефициент на варијација (%).

*lake water and accumulations; the numbers marked in red are out of the frame of the allowed values.

n – number of measurements; X_a – arithmetical mean; X_g – geometrical mean; Md – median; min – minimum; max – maximum; s – standard deviation; CV – coefficient of variation.



Слика 47. Мерно место М6
(Маденска Река кај Пилав Тепе).
Figure 47. Measuring place M6
(Madenka river at Pilav Tepe).

Табела 18. Дескриптивна статистика на вредностите од хемиските и геохемиските испитувања на мостри од проточна вода за мерно место М – 7 (Маденска Река на патот за Ново Село) по месеци (период 07.2010 – 12.2010) (n=5).

Table 18. Descriptive statistic of the values from the chemical and geochemical researches of samples from leaking water for measuring place M – 7 (Maden river on the road to Novo Selo) in months (period 07.2010 – 12. 2010) (n=5).

Параметри/ Parameters			Md	min	max	s	CV	МДК III класа/ MDK 3 rd class	Број на примероци над граничните вредности/ Number of samples over the border values
Температура/ Temperature, °C	12.4	11.81	12	8	19	3.93	48.22	-	-
pH	7.24	7.23	7.3	6.6	7.8	0.41	15.83	6.0 – 6.3	5 над/over 6.3
ХПК _{KMnO4} , mg/l	11.57	11.28	9.95	8.6	15.5	2.64	21.76	5.01 – 10.0	2
Вкупен сув остаток при/ Total dry leftover at 105 °C, mg/l	1969	1945.7	1629	1688	2576	318.97	74.44	-	-
Растворени материи/ Solvated matters, mg/l	1829.6	1800.3	1831	1462	2448	341.13	76.30	1000	5
Суспендирани материи/ Suspended matters, mg/l	139.4	131.91	128	95	226	48.49	257.07	30 – 60	5
Бакар/ Copper, mg/l	0.188	0.13	0.23	0.02	0.33	0.11	93.9	0.05	4
Сребро/ Silver, mg/l	0.0064	0.004	0.01	0.00 1	0.01	0.004	33.83	0.02	0
Амонјак/ Ammonia, mg/l	0.574	0.26	0.76	0.03	1.18	0.46	234.78	10.0	0
Нитрати/ Nitrates, mg/l	8	6.53	5.98	3.54	19.3	5.79	25.08	15.0	1
Нитрити/ Nitrites, mg/l	0.078	0.05	0.06	0.01	0.19	0.06	227.60	0.5	0
Вкупни фосфати/ Total phosphate, mg/l	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0.0071 – 0.01 0.011 – 0.02*	0

*-езерска вода и акумулации; броевите маркирани со црвено се надвор од опсегот на дозволените вредности.

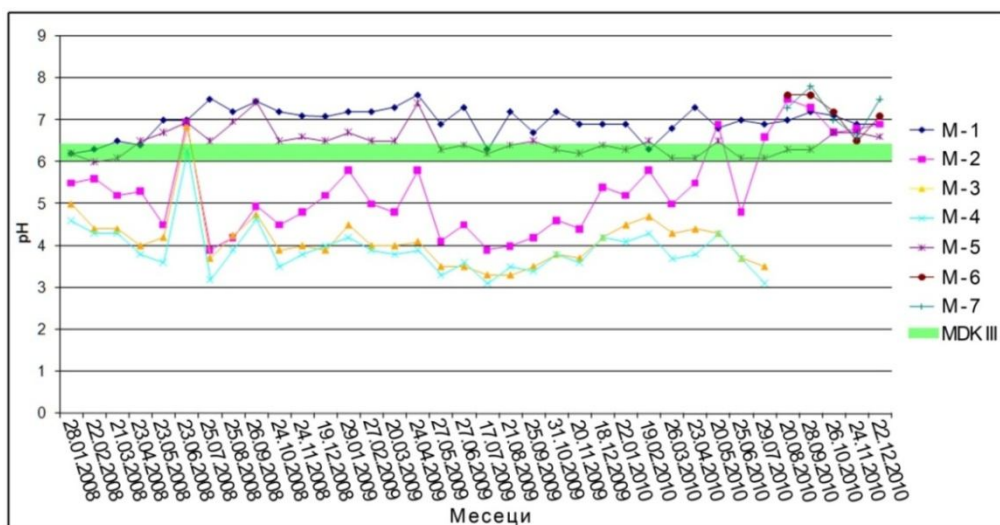
n – број на мерења; X_a – аритметичка средина; X_g – геометриска средина; Md – медијана; min – минимум; max – максимум; s – стандардна девијација; CV – коефициент на варијација (%).

*lake water and accumulations; the numbers marked in red are out of the frame of the allowed values.
n – number of measurements; X_a – arithmetical mean; X_g – geometrical mean; Md – median; min – minimum; max – maximum; s – standard deviation; CV – coefficient of variation.

Од споредбата направена во табела 17 се гледа дека три од десет споредени карактеристики на водите од Маденска Река се во границите на дозволеното, а останатите седум се надвор од границите.

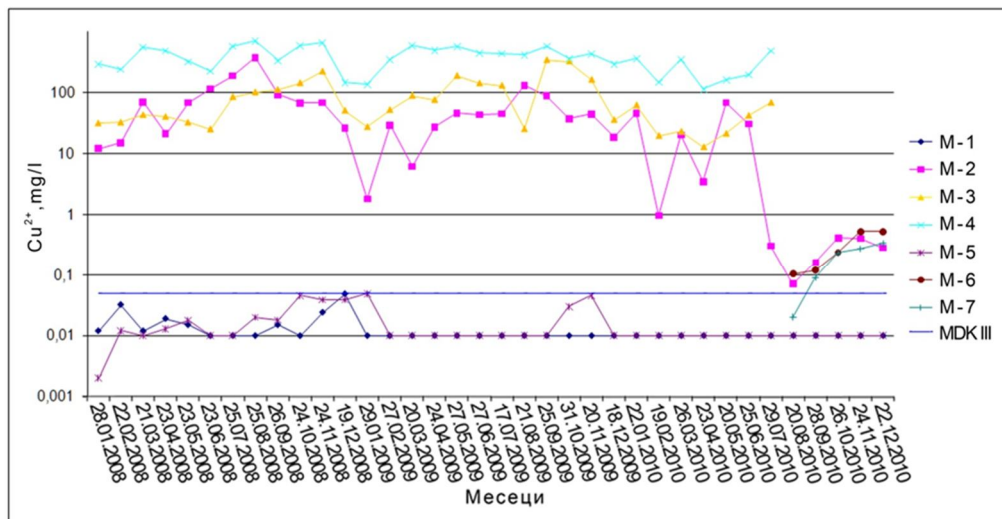
Од споредбата направена во табела 18 може да се констатира истата ситуација, само што е воочлива пониска концентрација на Cu во споредба со претходното мерно место.

Водата од Маденска Река е малку загадена. Варијацијата на концентрацијата на контаминантите не е толку зависна од количината на врнежи од дожд.



Слика 48. Графички приказ на движењето на pH вредностите по месеци за период 28.01.2008 – 22.12.2010 година, за примероци од проточна и бунарска вода од околината на рудникот Бучим.

Figure 48. Graphic presentation of the moving of the pH values every month for the period 28.01.2008 – 22.12.2010, for samples from fluvial and pit water in the surrounding area of the mine “Bucim”.



Слика 49. Графички приказ на движењето на Cu вредностите по месеци за период 28.01.2008 – 22.12.2010 година, за примероци од проточна и бунарска вода од околината на рудникот Бучим.

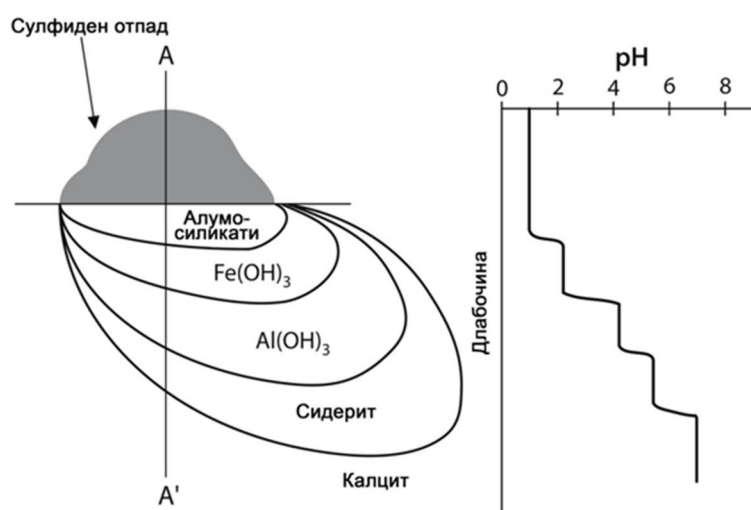
Figure 49. Graphical presentation of the moving of Cu values every month for the period of 28.01.2008 – 22.12.2010, for samples from fluvial and pit water in the surrounding area of the mine “Bucim”.

8.5.2.3.3. Квалитет на подземните води

Рудничката вода почесто влијае врз квалитетот на подземните води отколку врз површинските води. Загадувањето на подземните води може да потекнува од рудничките работни средини, сулфидните јаловински брани, рудничките одлагалишта, места за лужење на куп, рудни резерви, јагленокопен отпад, езерца и загадената почва (Paschke et al. 2001). Загадената вода може да премине од рудничките работни средини и рудничките одлагалишта во изданите, особено ако рудничкото одлагалиште е непокриено, без подлога и пропусливо во основата, или доколку се оштети подлогата на рудничкиот отпад. На такви места водата може да протече од рудничките работни средини или од рудничките одлагалишта во подземните издани. Значајни концентрации на сулфати, метали, полуметали и на други загадувачи се среќаваат во млазевите подземна вода која протекува низ рудничките средини и одлагалиштата на рудничка јаловина. Доколку не се поправи, млазот на загадена вода со текот на времето ќе се придвижи по својот тек, ќе ги напушти рударските работни средини и рудничките одлагалишта, ќе избие на некое место на прокапување и ќе ги загади површинските води (Lachmar et al. 2006). Стапката на придвижување на таквите млазеви е многу колеблива и зависи од физичките и од хемиските особености на изданот, или на отпадниот руднички материјал. Општо земено, концентрациите на сулфати, на метали и на полуметали во подземната вода го одредуваат истечниот млаз што се слева низводно од АМД изворот (Johnson et al. 2000; Paschke et al. 2001). Нивото на загадување зависи од содејството меѓу почвата, тињата или карпата низ кои протекуваат онечистените води и загадувачите присутни во водата. Нереактивните загадувачи (на пр. SO_4^{2-}) се движат со брзината на подземната вода. Но реактивните загадувачи (на пр. тешките метали, полуметали) се движат побавно од брзината на подземната вода, па во загадениот млаз може да се јави низа од различни pH – зони (слика 50). Појавата на овие зони е последица на последователното распаѓање на различните pH – разблажувачки фази во изданот. Таквиот процес на природно разблажување во изданот, вклучувајќи ги и промените на pH – вредноста и Eh, може да ги намалат концентрациите на состојките од првобитното ниво во течението на потповршинското одлагалиште. Неутрализирачките минерали, како што се карбонатите, може да се задржат во изданот. Овие минерали ги разблажуваат киселите подземни води. Зависно од

неутрализирачките својства на изданот низ кој се движи ваквата вода, може да поминат години пред да се забележат значајни влијанија врз квалитетот на подземните и на површинските води. Во најлош случај, неутрализирачките минерали целосно ќе се потрошат пред да запре киселотворноста на изворот. Тогаш, млазот кисела подземна вода ќе се придвижи низводно и на крај може да избие на површината.

Квалитетот на подземните води испитани од пумпната станица на рудникот Бучим, лоцирана во Дамјанско Поле во атарот на населбата Дамјан, најмногу е намален во есенскиот период, односно во месеците со најмногу врнежи кога и нивото на подземните води е највисоко бидејќи Дамјанско Поле е претставено со алувијални седименти каде се формираат издан со слободно ниво (табела 19).



Слика 50. Шематски приказ на одлагалиште на сулфиден руднички отпад со соодветен млаз кисела вода што се инфилтрира во земјиштето. Многубројни се минералите што ја разблажуваат киселата подземна вода. Промените на pH – вредноста во млазот се покажани за пресекоот AA' (Jurjovec et al. 2002).

Figure 50. Schematic cross-section of a sulfidic waste dump with a corresponding plume of acid water seeping into the ground. Various minerals buffer the acid ground water. The pH changes in the plume are shown for the cross-section AA' (Jurjovec et al. 2002).

Од табелата 19 се гледа дека многу мал процент од измерените карактеристики на подземните води ги надминуваат максимално дозволените вредности за III класа води, односно води кои можат да се употребуваат за наводнување во земјоделското стопанство.

Од погоре кажаното може да се констатира дека подземните води во населбата Дамјан се контаминирани, но не во голема мера, но сепак над МДК. И покрај тоа, тие се користат за пиење, готвење и за други намени.

Табела 19. Дескриптивна статистика на вредностите од хемиските и геохемиските испитувања на мостри од бунарска вода за мерно место М – 5 (Бунарска вода, пумпна станица на рудник Бучим) по месеци (период 01.2008 – 12.2010) (n=36).

Table 19. Descriptive statistic of the values from the chemical and geochemical researches of samples from leaking water for measuring place M – 5 (Well water, pumping station of the Mine Bucim) in months (period 01.2008 – 12.2010) (n=36).

Параметри/ Parameters	X_a	X_g	Md	min	max	s	CV	МДК III класа/ MDK 3 rd class	Број на примероци над граничните вредности/ Number of samples over the border values
Температура/ Temperature, °C	13.85	13.67	14	10	18	2.12	15.3	-	-
pH	6.47	6.46	6.5	6	7.43	0.32	5.01	6.0 – 6.3	22 над 6.3
ХПК _{KMnO4} , mg/l	5.46	5.22	4.88	2.52	9.98	1.74	31.9	5.01 – 10.0	0
Вкупен сув остаток при/ Total dry leftover at 105 °C, mg/l	839.52	741.67	869	7.8	1668	237.36	28.3	-	-
Растворени материи/ Solvated matters, mg/l	796.83	765.95	815.5	306	1663	222.04	27.9	1000	2
Суспендирани материи/ Suspended matters, mg/l	56.67	39.54	52	2	304	57.39	101.3	30 – 60	4
Бакар/ Copper, Cu ²⁺ , mg/l	0.016	0.013	0.01	0.002	0.049	0.012	75.4	0.05	0
Сребро/ Silver, Ag ²⁺ , mg/l	0.005	0.003	0.001	0.001	0.012	0.004	90.9	0.02	0
Амонјак/ Ammonia, NH ₄ ⁺ , mg/l	0.25	0.11	0.11	0.01	1.57	0.34	136.5	10.0	0
Нитрати/ Nitrates, NO ₃ ⁻ , mg/l	11.85	11.28	10.56	7.99	29.7	4.62	38.98	15.0	4
Нитрити/ Nitrites, NO ₂ ⁻ , mg/l	0.016	0.01	0.01	0.001	0.11	0.02	124.3	0.5	0
Вкупни фосфати/ Total phosphate, PO ₄ ³⁻ , mg/l	0.018	0.009	0.01	0.001	0.21	0.035	187.9	0.0071 – 0.01 0.011 – 0.02*	14

*-езерска вода и акумулации; броевите маркирани со црвено се надвор од опсегот на дозволените вредности.

n – број на мерења; X_a – аритметичка средина; X_g – геометриска средина; Md – медијана; min – минимум; max – максимум; s – стандардна девијација; CV – коефициент на варијација (%).

*lake water and accumulations; the numbers marked in red are out of the frame of the allowed values.
n – number of measurements; X_a – arithmetical mean; X_g – geometrical mean; Md – median; min – minimum; max – maximum; s – standard deviation; CV – coefficient of variation.

Според резултатите од мерењата, на квалитетот на површинските и подземните води, евидентно е значајно намалување на вредностите на мерените параметри, односно влијанието, почнувајќи од јули 2010 год., што е резултат на ставањето во функција на системот за зафаќање на дренажните води од постоечкото одлагалиште и одведување во хидројаловиштето. Намалувањето на влијанието значи и подобрување на квалитетот на површинските води, односно зголемување на апсорптивниот капацитет на водотеците реципиенти.

Со изградбата и пуштањето во употреба на новата постројка за лужење на бакарни руди и добивање на катоден бакар во рамки на рудникот Бучим во почетокот на 2012 год., практично се овозможи искористување на концентрациите на бакар што се содржат во дренажните води од коповското јаловиште за производство на катоден бакар. Овој проект претставува продолжение на започнатите активности за конечно решавање на проблемот со загадување на површинските води во околината на Бучим со загадените дренажни води. На тој начин се овозможи еколошкиот проблем да се реши ефикасно, добивајќи една нова финансиска димензија.

Од друга страна, податоците за квалитетот на подземните води (редовни мерења на води од пумпна станица за рудникот) укажуваат на незначителното или минимално влијание на контаминираните дренажни води од основното одлагалиште врз подземните води.

8.6. Експлоатација на одлагалиштето бр. 1 со хидрометалуршки процес за добивање на бакар со метода на лужење

Во рударската индустрија постојат неколку видови на лужење: а) лужење на куп; б) табанско лужење и в) *in-situ* (на самото место) лужење. Се чини дека најперспективно од нив е лужењето на куп, иако во последно време се зголемува и користењето на табанското и *in-situ* лужење. Во рамките на рудникот Бучим се применува лужење на куп.

Лужењето на бакарни руди се врши на две одлагалишта: 1. постојното, т.н. основно одлагалиште бр. 1 и 2. одлагалиште за оксидна руда, кое е лоцирано веднаш до основното одлагалиште бр. 1. Технологијата што се користи за добивање на електролитски бакар од наоѓалиштето Бучим, се базира врз искористувањето на 0,5%-ен раствор на сулфурна киселина, наречен раствор за лужење, кој се додава на површината на одлагалиштата. Преминувајќи низ рудата во одлагалиштето, растворот раствора дел од бакарот и истекува од неговиот долен дел. Овој раствор кој е богат со бакар, наречен е продуктивен и се транспортира во технолошки комплекс за преработка на растворите, каде што понатаму се преработува до добивање на електролитски бакар.

Комплексот ќе произведува до 2800 t бакар годишно. Производствениот режим е 365 дена во годината.

Технолошкиот процес е поделен на два дела: геотехнолошки и преработувачки. Функционалната поделба е диктирана од самата локација.

8.6.1. Геотехнолошки комплекс

Во геотехнолошкиот комплекс се врши циркулирање на растворите од долниот дел на одлагалиштето до технолошкиот комплекс и обратно. За потребите на оваа фаза од технолошкиот процес (лужење на рудите) се формирани одлагалишта, на кои потоа се испланирани и инсталирани полиња на напрскување – наводнувачки полиња и е поставена наводнувачка мрежа. Се спроведува лужење на две одлагалишта – постоечкото одлагалиште за рудничка јаловина и раскривка (слика 50) и ново одлагалиште на оксидна руда кое е во фаза на формирање (оксидно одлагалиште) (слика 51). Додавањето на растворите за лужење се врши по пат на систем за напрскување – наводнување, така што се врши рамномерно додавање на растворите во целата површина на полето. Додавањето на растворите за лужење до полињата се врши по потисни магистрани цевководи. За акумулација на продуктивните раствори кои се дренирале - се одлеале низ одлагалиштата, се изградени две технолошки брани Д3 и Д5, посебно за секое одлагалиште, а од таму продолжуваат во производниот комплекс за понатамошна преработка. За собирање на инцидентни истекувања, изградена е хавариска брана Д4 којашто ја има улогата да го спречи истекот на загадени води надвор од објектот.

8.6.1.1 Основно одлагалиште бр. 1

Основното јаловиште бр. 1 со раскривка зафаќа површина од околу 550 декари (0.55 km^2). Се простира на терен во пад, со приближно 100 m висинска разлика во правец север – југ. За обезбедување на производство од 2800 t/год. бакар при содржина на бакар во растворите од околу 0.5 g/l е потребен проток од $650 \text{ m}^3/\text{h}$. Димензионирањето на полињата за напрскување се заснова врз параметрите зададени во технолошкиот процес, како што се густината на напрскување ($12 \text{ l/m}^2/\text{h}$) и максимален предвиден проток на излужените раствори ($650 \text{ m}^3/\text{h}$).

Предвидено е основниот дел од овие раствори (околу $580 \text{ m}^3/\text{h}$) да се транспортира до одлагалиштето со помош на пумпи, монтирани во преработувачкиот комплекс. За транспортирање на останатите раствори од околу $70 \text{ m}^3/\text{h}$, ќе се користи постоечкиот систем за управување на површинските води на рудникот Бучим, кој се состои од пумпна станица, ПС1 и пумпна станица ПС2, и цевковод. Капацитет на овој систем е $180 \text{ m}^3/\text{h}$. Од нив, $70 \text{ m}^3/\text{h}$ ќе се

користат за транспортирање на технолошки раствори, додека останатиот капацитет од $110 \text{ m}^3/\text{h}$ ќе се користи за оросување на нови полиња.

На вкупната површина од одлагалиштето бр. 1 се предвидуваат 10 наводнувачки полиња, секое со средна површина од околу 54 декари (слика 53).

Основниот табан е насипан врз навалена површина и заради тоа дебелината на слојот рудна маса под неговата површина е различна во неговиот јужен и северен дел. Во јужниот дел, на табанот достигнува до 100 m, додека во северната, речиси до нула метри. За избегнување на големи разлики во потрошувачката норма за попрскување на тон рудна маса во л.час/т, намалени се површините на полињата во неговиот јужен дел, а се зголемени површините на полињата во неговиот северен дел.

Излужувачките раствори се транспортираат до купот по три магистрални цевководи. Два од нив излегуваат од преработувачкиот комплекс за преработка на растворите (ТКПР) и се димензионирани за по $290 \text{ m}^3/\text{h}$, додека третиот е протуркуван од пумпна станица 2 (ПС 2), и е димензиониран за $180 \text{ m}^3/\text{h}$.



Слика 50. Поле од основното одлагалиште бр. 1 каде е поставена наводнувачка мрежа и конкретно се спроведува процесот на лужење на куп.

Figure 50. Field of the basic postponing area no. 1 where the watering network is placed and the process of leaching on a heap is performed.

8.6.1.2. Одлагалиште за оксидна руда

Согласно технолошкиот процес, во фаза на формирање е одлагалиште на оксидна руда. Чистата површина на основата врз која е поставено купиштето е $116,5 \text{ дка}$ ($0,116 \text{ km}^2$), и е со наклон на теренот по должната оска 6 степени од североисток кон југозапад, и странични наклони од периферијата кон средината 3 – 5 степени по напречните профили на основата.

Локацијата на одлагалиштето за оксидна руда е соодветно подготвена за да биде максимално мазна површина. На површината се поставени водонепропустлива геомембрана, дренажен систем и други хидротехнички решенија, кои ја спречуваат миграцијата на технолошки раствори надвор од зоната на купот. Сите предвидени материјали се отпорни на киселински раствори (слика 51).



Слика 51. Одлагалиште за оксидна руда, покриено со полимерна облога на дното.

Figure 51. Postponing area for oxide ore, covered with polymer inlay on the bottom.

Купиштето е од булдожерски тип. Натрупувањето се врши по периферен начин, при што местото на одвивање е североисток – југозапад по надолжната оиска, и напречно југоисток – северозапад.

Технолошката шема вклучува товарење на бакарна оксидна руда од РТ Вршник, нејзино транспортирање и натрупување од хоризонт 535 m, и првото скалило е со максимална висина 20 m, а минимална 0. Во текот на годините ќе се работи редоследно на 2 или на 3 хоризонти, при што целта е да се обезбеди натрупување на 1.000.000 t оксидна руда, за една година, а истовремено ќе се подготват и неопходните површини и ќе се обезбеди време за максимално ефективно лужење на депонираната руда. На тој начин, во текот на наредните 5-6 години, ќе се изградат 6 скапила на купиштето и ќе се депонираат 5.615.000 t оксидна руда која ќе биде излужена според проектната технологија.

За обезбедување на производство од 2800 t/год. бакар при содржина на бакар во растворот околу 1,2 g/l е потребен проток 270 m³/h. Предвидено е напскувањето на оксидниот табан да се врши од пумпите на ПС 1 со проток 180 m³/h, и од пумпите на преработувачкиот комплекс со проток 90 m³/h – општо 270 m³/h. Овој проток овозможува продуктивност на бакар околу 2800 t/год. За таа цел од магистралниот цевковод меѓу ПС 1 и ПС 2 е изграден раз-

делник до оксидното одлагалиште за 180 m³/h, а од секој магистрален цевковод од преработувачкиот комплекс – по еден разделник за секои 90 m³/h.

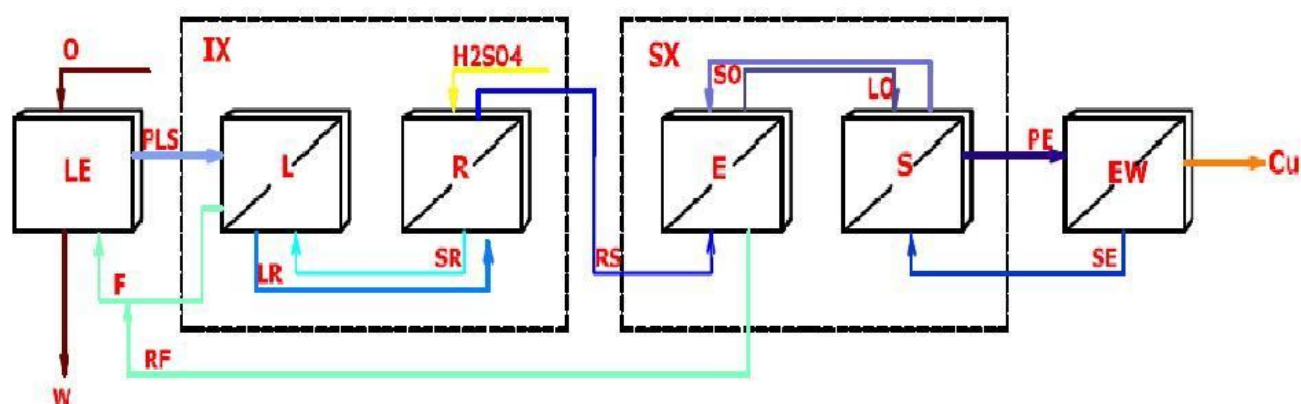
8.6.2. Производен (преработувачки) комплекс

Просторот предвиден за производниот комплекс зафаќа површина од 6.800 m². Објектот за понатамошна преработка на производните раствори е проектиран со површина од 3.700 m², како дел од производниот комплекс. Согласно технолошкиот процес, објектот е предвиден како решение од четири целини, меѓусебно функционално поврзани: зграда на технолошки комплекс, одделение за реагенси, таложници и пристапни рампи.

На сликата 53 се дадени граници на локацијата на постројката заедно со предвидените содржини.

8.6.3. Опис на технолошкиот процес

Процесот се состои од четири основни фази: (i) лужење, (ii) сорбција, (iii) течна екстракција и (iv) електролиза. Од своја страна, фазата сорбција вклучува две подфази: збогатување и регенерација, додека течната екстракција – екстракција и реекстракција (слика 52).



Слика 52. Технолошка шема на процесот L-IX-SX-EW.

Легенда:

LE-лужење, **O**-руда, **W**-преработена руда, **PLS**-збогатен исцеден раствор, **F**-филтрат, **RF**-рафинат, **IX**-сорбција, **L**-збогатување, **R**-регенерација, **LR**-збогатена смола, **SR**-регенерирана смола, **RS**-регенерат, **SX**-течна **E**-екстракција, **S**-реекстракција, **LO**-збогатена органика, **SO**-реекстрактирана органика, **EW**-електролиза, **PE**-богат електролит, **SE**-сиромашен електролит.

Figure 52. Technological scheme of the process L-IX-SX-EW.

Legend:

LE-leaching, **O**-ore, **W**-Processed ore, **PLS**-concentrated extracted solution, **F**-filtrate, **RF**-refined material, **IX**-sorption, **L**-concentration, **R**-regeneration, **LR**-Concentrated trpentine, **SR**-regenerated trpentine, **RS**-regenerate, **SX**-liquid **E**-extraction, **S**-re-extraction, **LO**-enriched organics, **SO**-re-extracted organics, **EW**-electrolysis, **PE**-rich electrolyte, **SE**-poor electrolyte.

8.6.4. Економски ефект од лужење на наводнувачкото поле 4 во одлагалиштето бр. 1

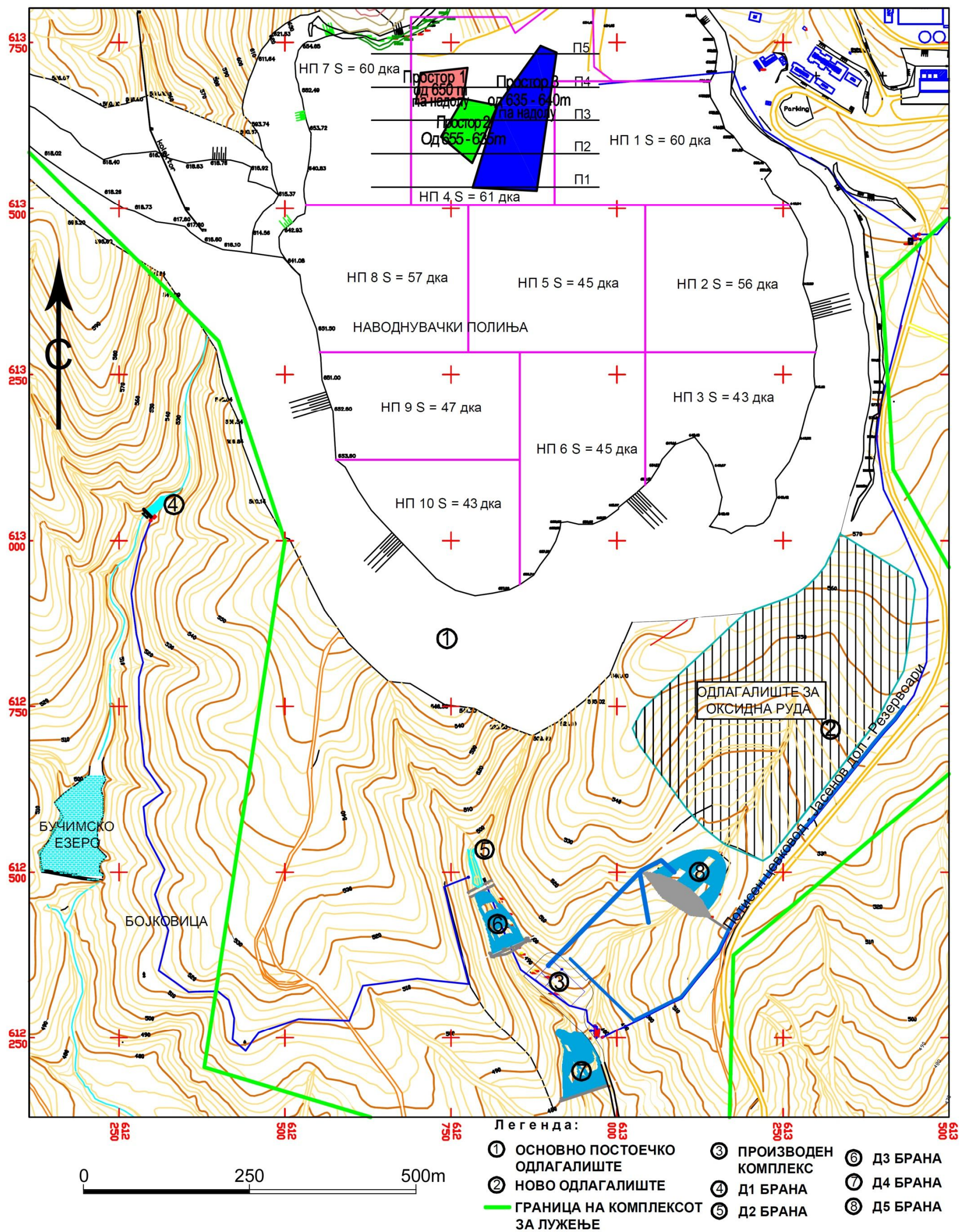
На одлагалиштето бр. 1 моментално се врши оросување со раствор за лужење на поголем дел од наводнувачките полиња 1, 2 и 3. Наводнувачкото поле 4 е лоцирано во северниот дел од одлагалиштето бр. 1. Во изминатиот период на овој простор се концентрирани поголеми одвоени количини на депонирана, за тоа време, некономска категорија на руда од претходниот период на експлоатацијата на рудните тела Чукар 1, Чукар 2 и Централно рудно тело (ЦРТ).

На сликата 53 е прикажана целосната локација на Одлагалиште бр.1 со обележан простор (простор 1, 2 и 3) за оросување во наводнувачкото поле 4. Вкупниот простор опфаќа околу 3.190.000 тони маси, со површина на оросување од приближно 4,4 хектари, која е само околу 8% од вкупната површина на одлагалиштето бр.1, која изнесува околу 55 хектари.

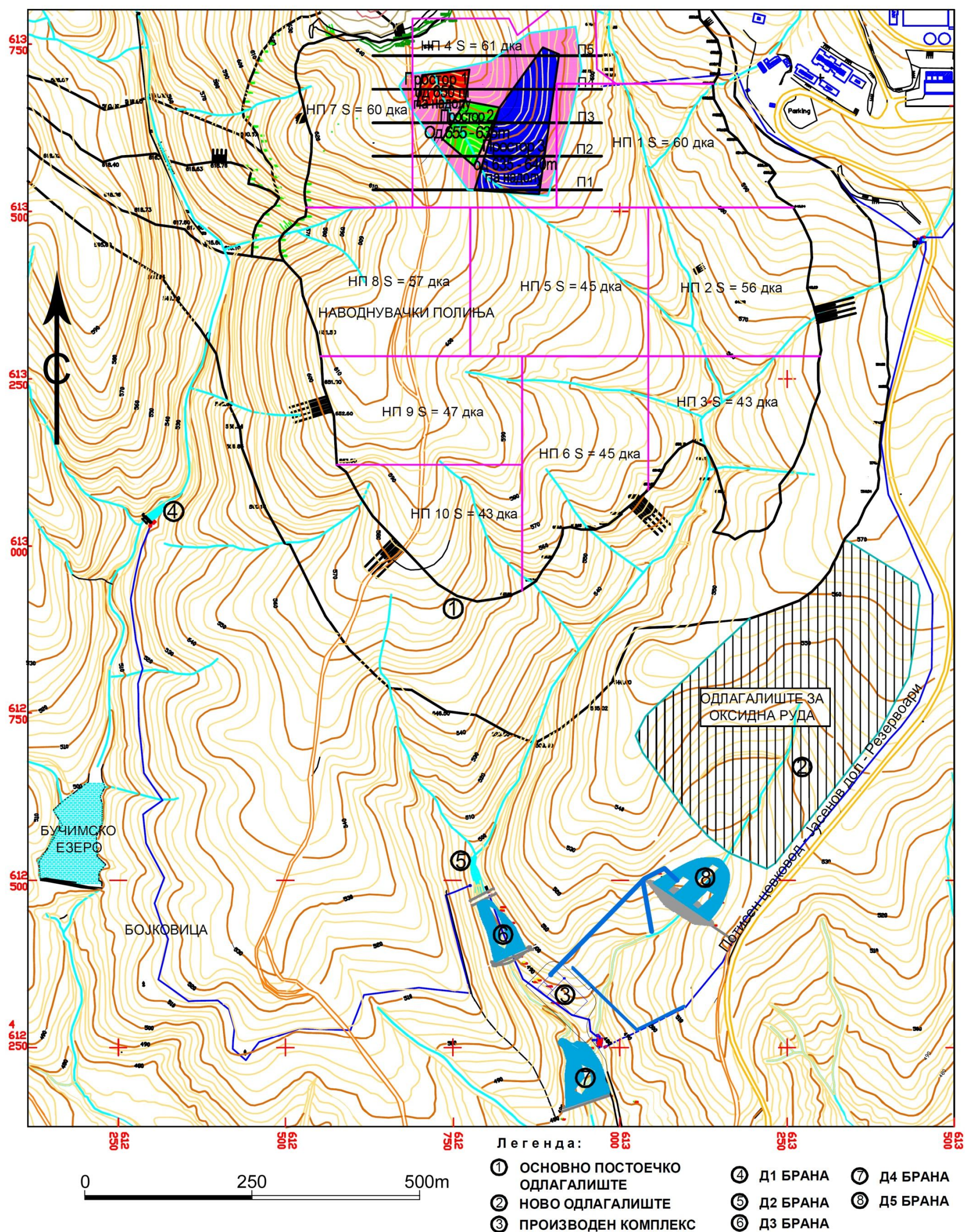
Според топографијата на теренот сливот на сите теченија од наводнувачките полиња 1, 2, 3, 4, 5 и 6 се усмерени кон Јасенов Дол, а поголем дел од теченијата од наводнувачките полиња 7, 8, 9 и 10 се усмерени кон Бучимски Дол (слика 54).

Според погоре кажаното, продуктивните раствори кои ќе се дренираат низ одлагалиштето бр.1, а ќе бидат додадени како 0,5%-ен раствор на сулфурна киселина, наречен раствор за лужење на површината на наводнувачкото поле 4, ќе се акумулираат во технолошката брана ДЗ, лоцирана во Јасенов Дол, а од таму продолжуваат во производниот комплекс за понатамошна преработка.

Обележаниот простор кој ги опфаќа поединечните простори бр. 1, 2 и 3 (слика 54) е со вкупна количина од 1.400.000 тони, од каде во просторот бр. 1 се депонирани околу 185.000 тони на оксидна руда од рудното тело Чукар 1 во периодот 1979 – 1980 год. со квалитет од околу 0,3% на Си. Во просторот бр. 2, се депонирани околу 650.000 тони на сиромашна руда со 0,112% на Си од рудното тело Чукар 2, во текот на 2006 -2008 год. А, пак, во просторот бр. 3, се депонирани околу 300.000 тона на руда од секундарна минерализација со квалитет од околу 0,3% Си од рудно тело Чукар 1 во периодот од 1982 – 1983 год. (табела 20, слика 55).



Слика53. Граница на локацијата на постројката за лужење и предвидени содржини.
Figure 53. Boundary of the location of the leaching plant and foreseen contents.



Слика54. Ситуациона карта на делот обележан за оросување со топографија на теренот од првобитна состојба пред формирањето на одлагалиштето бр. 1.

Figure 54. Situational map of the part marked for dewing with topography of the field from the original condition before the forming of the postponement area.

Табела 20. Пресметка на вкупните маси на целиот простор и поединечно на просторите 1, 2 и 3.

Table 20. Calculation of the total masses on the whole area and individually on the areas 1, 2 and 3.

Бр. Пр./ Profile no.	п/м ²	сп/м ²	Растојание/Distance	м ³	Тонажа/ Mass
0					
1	7410	3705	50	185250	333450
2	8500	7955	50	397750	715950
3	8215	8357,5	50	417875	752175
4	7885	8050	50	402500	724500
5	3408	5646,5	50	282325	508185
6		1704	50	85200	153360
			Вкупно/ Total	1770900	3187620

Руда во простор 1/ Mine in the space 1

Бр. Пр./ Profile no.	п/м ²	сп/м ²	Растојание/Distance	м ³	Тонажа/ Mass
0					
1	1060	530	50	26500	47700
2		530	50	26500	47700
			Вкупно/ Total	39750	95400

Руда во простор 2/ Mine in the space 2

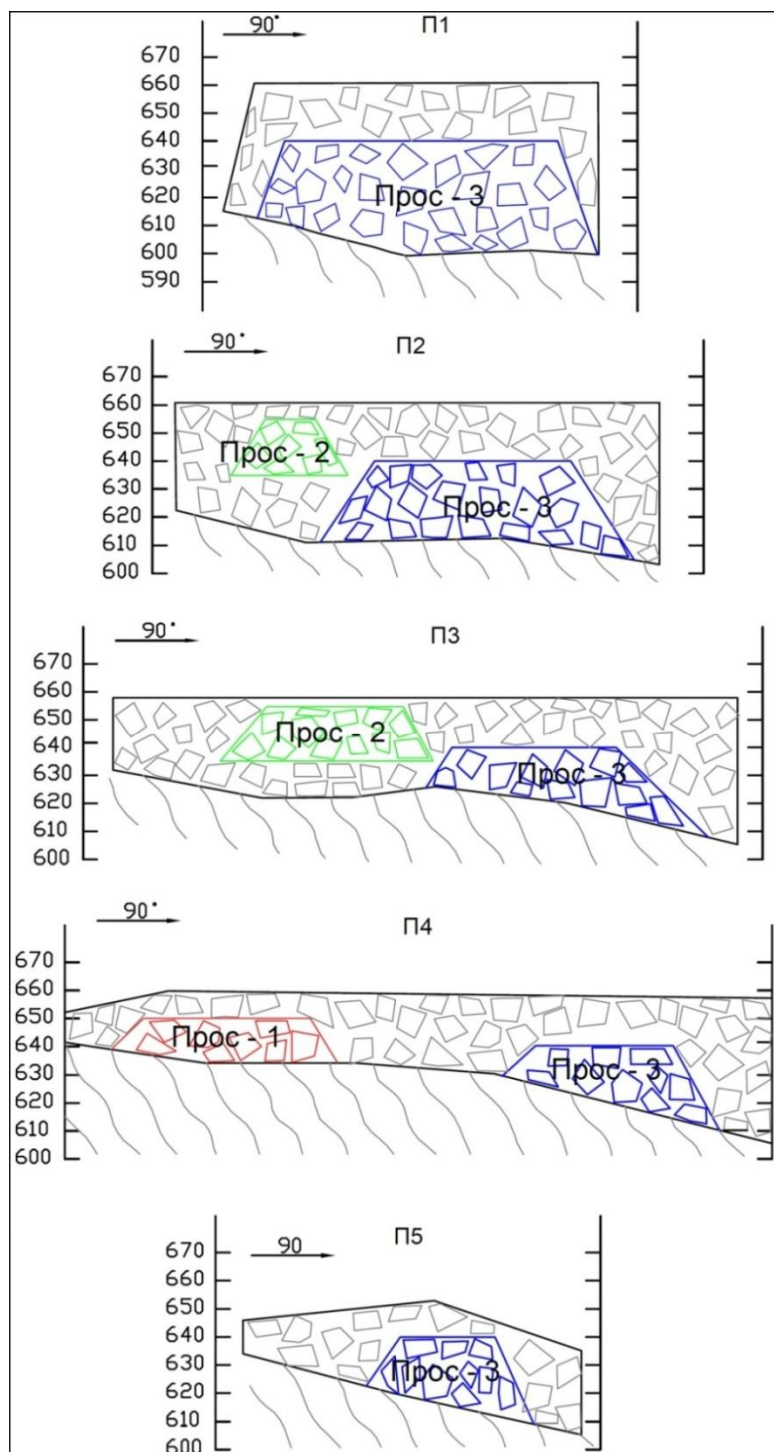
Бр. Пр./ Profile no.	п/м ²	сп/м ²	Растојание/ Distance	м ³	Тонажа/ Mass
0					
1	7410	3705	50	185250	333450
2	8500	7955	50	397750	715950
3	8215	8357,5	50	417875	752175
			Вкупно/ Total	1770900	3187620

Руда во простор 3/ Mine in the space 3

Бр. Пр./ Profile no.	п/м ²	сп/м ²	Растојание/ Distance	м ³	Тонажа/ Mass
0					
1	3660	1830	50	91500	164700
2	2586	3123	50	156150	281070
3	1600	2093	50	104650	188370
4	1180	1390	50	69500	125100
5	830	1005	50	50250	90450
6		415	50	20750	37350
			Вкупно/ Total	1770900	887040

Руда во простор 1+2+3

Бр. Пр./ Profile no.	п/м ²	сп/м ²	Растојание/ Distance	м ³	Тонажа/ Mass
0					
1	3660	1830	50	91500	164700
2	3061	3360,5	50	168025	302445
3	2810	2935,5	50	146775	264195
4	2240	2525	50	126250	227250
5	830	1535	50	76750	138150
6		415	50	20750	37350
			Вкупно/ Total	1770900	1134090



Слика 55. Попречни профили на обележаниот простор и поединечно на просторите бр. 1, 2 и 3.
Figure 55. Transversal profile of the marked space and individually of the areas no. 1,2 and 3.

Во вкупниот простор бр. 1, 2 и 3, вкупните количини од 1.400.000 тони се оценува дека се со просечен квалитет од 0.170% на Cu , или околу 2.380 тони на бакар. Додека пак, во вкупно обележаниот простор за оросување во наводнувачкото поле 4 се опфатени 3.190.000 тони на маса за лужење со квалитет од 0,119% на Cu , или околу 3.800 тони бакар. Ако се смали просторот за оросување ќе се добие поголем квалитет на бакар, но постои можност да се не се погодат местата на депонирање на обележаните простори бр. 1, 2, 3 од

причини што не се геодетски евидентирани во времето на депонирањето. Со издвојувањето на овој простор, се посочува на локации со поголеми содржини на бакар од вкупните просечни содржини во целиот простор.

Цената на бакарот, за 26.03. 2012 год. е следна 8.450 USD/t (London Metal Exchange).

Така, вредноста на наводнувачкото поле 4, лоцирано во одлагалиштето бр.1 во рудникот Бучим во овој момент изнесува:

$$Cu_{np4} = ((C_{Cu} \times E_{Cu}) \times Q_R) \times V = ((0.119\% \times 0.6) \times 3.190.000t) \times 8.450 \text{ USD/t} = \\ = 2.277 \text{ t} \times 8.450 \text{ USD/t} = 19.240.650 \text{ USD}$$

каде:

C_{Cu} – средна содржина на корисна компонента;

E_{Cu} – степен на искористување при лужење на куп;

Q_R – количина на депонирана руда;

V – моментална цена на металот.

Треба да се нагласи дека посочената вредност на наводнувачкото поле 4 кое е само 8 % од површината на техногеното наоѓалиште поврзано со одлагалиштето бр. 1 во рудникот Бучим, ќе ја поврати вложената инвестиција за изградба на постројката за производство на катоден бакар. Од овде јасно се гледа вредноста која ја има ова техногено наоѓалиште поврзано директно со сулфидниот руднички отпад од рудникот Бучим. Во иднина треба многу големо внимание да се посвети при проектирањето на нови одлагалишта на сулфиден руднички отпад во концесискиот простор на рудникот Бучим. А воедно при нивното формирање се наметнува потребата од геодетско евидентирање на депонираните маси на сулфиден руднички отпад и евидентирање на квалитетот на истиот тој отпад.

9. ТЕХНОГЕНО НАОЃАЛИШТЕ ПОВРЗАНО СО ХИДРОЈАЛОВИШТЕТО НА РУДНИКОТ БУЧИМ

Обработката на цврстите карпи од металните руди (на пр. Au, Cu, Pb, Zn, U) подразбира намалување на големината на честичките и одвојување на поединечните минерали (Lottermoser, 2007).

Експлоатацијата на бакарните руди од рудникот Бучим се остварува преку отворање на површински коп. Првиот процес на експлоатацијата е откопувањето. Во понатамошниот процес рудата со помош на дамperi се носи на примарно дробење. Во примарната дробилка се изведува дробење на рудата до 210 mm. После фазата на примарно дробење следува фазата на секундарно дробење, а на крај мелење, при што цврстите рудни карпи со пречник од еден метар се намалуваат на дијаметар од само неколку милиметри, па дури и неколку микрони. Целта на отворањето на минералните сировини е рудата да се иситни така што рудните минерали ќе се одвојат од примесните минерали. Во втората фаза од подготовка на минералните сировини, рудните минерали се одвојуваат од примесите (Lottermoser, 2007).

Под поимот концентрација на минералните сировини се подразбира процес при којшто од откопаната минерална сировина разнородните минерални компоненти се разделуваат и преовладуваат во истоимени производи и тоа еден или повеќе концентрати и отпадок (флотациска јаловина). При подготовката на минералните сировини во рамките на рудникот Бучим се користат флотациските методи за концентрација (Слика 56).



Слика 56. Дел од погонот за флотација во рудникот Бучим.
Figure 56. Part of the plant for flotation in the mine Bucim.

Овој метод на концентрација ја користи разликата во физичко – хемиските својства на минералните површини и способноста на минералните честички да

се зацврстат на површината на разделот на две фази. Во индустриски услови најголема примена има флотациската концентрација која се остварува на границата што ги дели двете фази (т.е. во меѓуфаза) течно – гасовито, со воздушните меурчиња и се нарекува пенлива флотација.

Крајниот производ од подготовката на бакарните руди во рудникот Бучим е: а) концентрат од посакуваното добро и б) извесно количество заостанат отпад познат како флотациска јаловина. Јаловината се произведува во облик на честична суспензија, односно, ситнозрнеста каша од вода и талог. Јаловината главно се состои од сомелената примеса од која најголем дел од корисната руда е отстранет. Цврстите честички се непожелни минерали, како што се силикатите, оксидите, хидроксидите, карбонатите и сулфидите. Но извлекувањето на корисниот минерал никогаш не изнесува 100%, па јаловината секогаш содржи и мали количества од корисниот минерал. А пак, при несоодветна подготовка на минералната сировина во браната со флотациска јаловина може да се јават и многу високи концентрации од корисниот минерал (Lottermoser, 2007).

Речиси во секој метален рудник доаѓа до некаков облик на подготовка на минералната сировина, па нужно се создава и јаловина (Lottermoser, 2007). Во рудникот за бакар Бучим, се откопуваат нискоефициентни метални руди, при што извлечените рудни минерали се само мал дел (1.3 %) од вкупната откопаната рудна маса. Најголемиот дел од ископаниот материјал завршува како јаловина (98.7%). Затоа јаловината претставува најобемен отпад што се создава во металните рудници (Lottermoser, 2007).

Ова поглавје ги опфаќа особеностите на флотациската јаловина, карактеристиките на хидројаловиштето Тополница и еколошко – економските ефекти од флотациската јаловина.

9.1. Особености на флотациската јаловина

Јаловините може прилично да се разликуваат по своите хемиски и физички особености. Во овие особености спаѓаат: минералошкиот и геохемискиот состав, специфичната тежина на јаловинските честички, однесувањето при налегнување, односот пропустливост наспроти густина, почвената пластичност (т.е. Атерберговите граници), однесувањето при стврднување, реолошките/вискозните својства, јачината, хемијата на шуплинските води, како и својствата од излужувањето (Environment Australia, 1995).

Флотациската јаловина, добиена во процесот на преработка на минералната суровина во рудникот Бучим, се состои од цврсти честички и од течности. Цврстите честички се испуштаат со искористената технолошка вода во хидројаловиштето Тополница. Како последица од тоа, хидројаловиштето содржи води во облик на површински и шуплински води. Јаловинските течности обично содржат високи концентрации на технолошки хемикалии (Lottermoser, 2007). Следниов приказ на флотациската јаловина прави разлика помеѓу технолошките хемикалии, јаловинските течности и јаловинските цврсти честички.

9.1.1. Технолошки хемикалии

Поголемиот дел од постапките за облагородување на минералите и за нивна хидрометалуршка преработка ја обработуваат здробената руда во вода (Lottermoser, 2007). При флотациската подготовка на сулфидните бакарните руди и при хидрометалуршката преработка на сулфидните и оксидните руди од одлагалиштето бр. 1 и новото одлагалиште за оксидна руда од рудното тело Вршник во рудникот Бучим се употребуваат специфични хемикалии прилагодени за различните карактеристики на рудата и минералните однесувања. Хемикалиите се делат на флотациски реагенси, изменувачи, флокуланси/коагуланси, хидрометалуршки агенси и оксиданси (табела 21). Флотациските реагенси се група хемикалии што се употребуваат за пенлива флотација во рудникот Бучим, што е вообичаена техника за минералната преработка при извлекувањето на сулфидите. При тоа милта од сомелента бакарна руда при процесот на пенлива флотација во рудникот Бучим се меша со варно млеко за да се постигне базна средина, борово масло за да се создадат меури, алкохол за да се направат меурите поотпорни и колектор (најмногу се користи еколошки поприфатливиот синтетик колектор СКИК БЗ – 2000). Пенливата флотација се врши така што на ситно сомелените минерални честички им се додава вода и агенс за запенување. Рудните минерали се зафаќаат во воздушните меурчиња и создаваат пена на површината на водата. Пената се вади и се суши. Заостанатата вода ги содржи непожелните цврсти честички и се одделува како флотациска јаловина.

Најголем дел од технолошката вода се собира во таложното езеро во хидројаловиштето Тополница заради декантација. Јаловинската вода се декантира за повторна употреба и се враќа назад во преработувачкиот погон.

Рециклирањето на технолошката вода и на технолошките хемикалии има економска смисла и може да го намали полнежот на загадувачите содржани во таложното езеро и во јаловинската брана. Но јаловинските течности содржат одредена мера органски хемикалии, цијаниди, сулфурна киселина и други реагенси употребени за извлекување на минералите (Lottermoser, 2007).

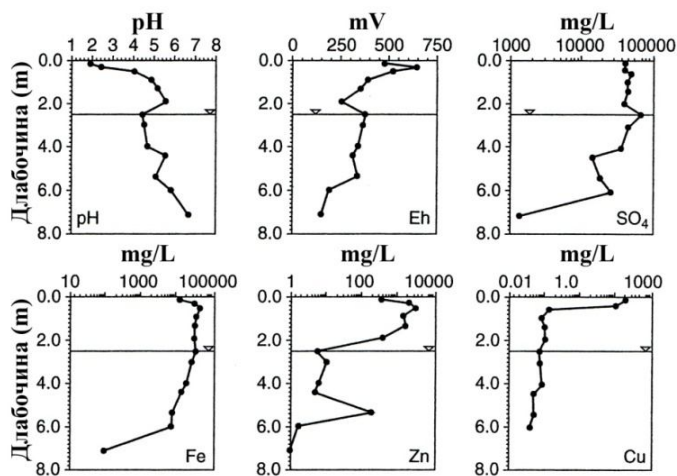
Табела 21. Примери за вообичаени флотациски реагенси, изменувачи, флокуланси, коагуланси, хидрометалуршки реагенси и оксиданси (Ritcey 1989)

Table 21. Examples of common flotation reagents, modifiers, flocculants, coagulants, hydrometallurgical reagents, and oxidants (Ritcey 1989)

Класа/Class	Употреба/Use	Примери на реагенси/Reagent examples
Флотациски реагенси/Flotation reagents		
a) Запенувачи/ Frothers	дејствуваат како медиум за флотација/to act as flotation medium	површински активните органски соединенија, како што се боровото масло, пропилниот гликол, алифатичниот алкохоли, крезилната киселина/Surface active organics such as pine oil, propylene glycol, aliphatic alcohols, cresylic acid
b) Собирачи/ Collectors	пребирливо ги обвиваат честичките со водоодбивна површина, која е привлечна за воздушните меури/to selectively coat particles with a water repellent surface attractive to air bubbles	растворливите во вода, површински активните органски соединенија, како што се амините, масните киселини, ксантогенатите/Water soluble, surface active organics such as amine, fatty acids, xanthates
Изменувачи/Modifiers		
a) pH – уредувачи/ pH regulators	ја менуваат pH – вредноста за да се поттикне флотацијата/to change pH to promote flotation	варта, хидрираната вар, калцитот, содата, натриумовиот хидроксид, амонијакот, сулфурната киселина, азотната киселина, хидрохлорната киселина/Lime, hydrated lime, calcite, soda ash, sodium hydroxide, ammonia, sulfuric acid, nitric acid, hydrochloric acid
b) Покренувачи и потиснувачи/ Activators and depressants	пребирливо го менуваат флотацискиот одговор на присутните минерали/to selectively modify flotation response of minerals present	површински активните органски соединенија и многубројни неоргански, како што се бакарниот сулфат, цинковиот сулфат, натриумовиот сулфид, оловниот нитрат, ворта, натриумовиот силикат/Surface active organics and various inorganics such as copper sulfate, zinc sulfate, sodium sulfide, lead nitrate, lime, sodium silicate
c) Масла/Oils	ја менуваат пената и дејствуваат како собирачи/to modify froth and act as collectors	керозинот, горивните масла, јаглено-катранските масла/Kerosene, fuel oils, coal – tar oils
Флокуланси/ Flocculants	го поттикнуваат создавањето покрупни честички и нивното делотворно налегнување по пат на премостување на малите честички во поголеми/to promote larger particle formation and settling efficiency by bridging smaller particles into larger particles	глините, металните хидроксида, полисахаридите, скробните деривати/Clays, metal hydroxides, polysaccharides, starch derivatives
Коагуланси/ Coagulants	го поттикнуваат создавањето покрупни честички и нивното делотворно налегнување по пат на намалување на нето-електричните одбивни сили на површината од честичките/to promote larger particle formation and settling efficiency by reducing the net electrical repulsive forces at particle surfaces	фери и феросулфатите, алуминиумовиот сулфат, феричниот хлорид/Ferric and ferrous sulfate, aluminium sulfate, ferric chloride
Хидрометалуршки реагенси/ Hydrometallurgical reagents	пребирливо ги излужуваат рудните минерали/to selectively leach are minerals	сулфурната киселина, натриум цијанидот/Sulfuric acid, sodium cyanide
Оксиданси/ Oxidants	ја оксидираат технолошката вода/to oxidize process water	водородниот пероксид, натриумовиот хипохлорит, феричниот хлорид, калиумовиот перманганат/Hydrogen peroxide, sodium hypochlorite, ferric chloride, potassium permanganate

9.1.2. Јаловински течности

Водата присутна во таложното езеро кај хидројаловиштето Тополница и таа што е присутна како порна вода во јаловината се нарекува јаловинска течност или јаловинска вода. Составот на јаловинската вода во таложното езеро и присутната порна вода (слика 57) од флотациското јаловиште Тополница зависи од применетата преработувачка техника, но исто така, составот може да се менува и со текот на времето. Врнежите придонесуваат за разблажување на јаловинската вода, додека пак, испарување предизвикува сталожување на вторичните минерали на јаловинската површина и под неа (Lottermoser, 2007).



Слика 57. Геохемиски профили за pH, Eh и одбраните елементи во порната вода од флотациски хидројаловишта. Забележлива е логаритамската скала за SO₄, Fe, Zn и Cu. Знакот ▽ го означува нивото на водата за време на земањето на примероците (Appleyard и Blowes, 1994)

Figure 57. Pore water geochemical profiles for pH, Eh and selected elements in a mine tailings impoundment. Note the logarithmic for SO₄, Fe, Zn and Cu. ▽ indicates the water table at time of sampling (Appleyard and Blowes, 1994).

Табела 22. Вредностите од хемиските и геохемиските испитувања на мостри од јаловинска вода од таложното езеро и колекторот од хидројаловиштето Тополница.

Table 22. The values of the chemical and geochemical researches of samples from tailing water from the tailing lake and the collector from flotation tailing damp "Topolnica".

Параметри/ Parameters	Вода од езеро	Вода од колектор	МДК III класа
pH	9.52	7.31	6.0 – 6.3
ХПК _{KMnO4} , mg/l	12.32	9.8	5.01 – 10.0
Вкупен сув остаток при 105 °C / Total dry leftover at 105 °C, mg/l	813	1357.5	-
Вкупен сув остаток од филтрат на 105 °C / Total dry leftover from filtrate at 105 °C	789	1087	-
Суспендирани материи/ Suspended matters, mg/l	24	83.1	30 – 60
Бакар/ Copper, Cu ²⁺ , mg/l	0.043	0.013	0.05

Технолошките хемикалии употребени за извлекување на рудните минерали во овој процес на пенлива флотација во рудникот Бучим создаваат алкални јаловински води (табела 22) со ниски концентрации на железо, манган, алуминиум и бакар, а високи концентрации на хлориди и на сулфати.

9.1.3. Јаловински цврсти честички

Во рудниците количеството на минералите извлечени од рудата е прилично мало, па најголем дел од ископаната и подготвена руда завршува како јаловина (Lottermoser, 2007). Во рудникот Бучим околу 98.7% од првобитно ископаната и подготвена руда завршува како јаловина. Сувата маса на создадената јаловина скоро и да е еднаква на сувата маса ископана руда.

Честичната големина на јаловината е прилично ограничена и се движи од глина до песок (т.е. 2 μ m до 2mm). За флотациско третирање рудата во рудникот Бучим е мелена, па и материјалот од јаловината е ситен односно со хомоген гранулометриски состав, односно повеќе од 50% учествуваат класите: -0,25 до +0,07mm и -0,074 до +0,044 додека класата над 25mm учествува со 15 до 25%, а -0,0044 се движи во границите 10-25% (Tudjarov et al. 1996). Честичната големина влијае врз отпорноста на јаловината на ветровита или на водена ерозија, како и на однесувањето и на налегнувањето на честичките во јаловинските брани.

Често се претпоставува дека јаловината содржи минерали слични на ископаната руда, само со многу помала честична големина. Па сепак, јаловината содржи материјали што се значително поинакви од откопуваната руда, во однос на честичната големина, на минералогичката и на хемијата. Цврстите честички и порната вода во јаловината реагираат и настојуваат да постигнат рамнотежа. Јаловината трпи еден вид дијагенеза. Освен тоа, се случуваат и физички и биолошки постапки, како што се набивањето, закоравувањето, повторното кристализирање, но и растворањето и создавањето минерали со посредство на микроорганизми (Craw 2003).

Дијагенетските постапки само го подвлекуваат фактот дека цврстите честички во јаловината може да се со различно потекло. Јаловинските цврсти честички може да бидат: а) првични рудни и примесни минерали; б) вторични минерали настанати при распаѓање; в) хемиски талози настанати за време на минералната подготовка и по неа и г) хемиски талози настанати по одлагањето

на јаловината во флотациските јаловишта. Минералите во јаловината може да им се припишат на неколку минералотворни настани (Jambor 1994). Првични минерали се рудата и примесите од првобитната ископана руда. Вторичните минерали се тие што настанале со распаѓање на рудните и на примесните фази. Хемиските талози настанати за време на подготовката на минералната суровина и по неа, како и тие настанати во јаловинските јазови, може да се означат како трети и четврти (Jambor 1994).

Повеќе од 95% од јаловината присутна во флотациското јаловиште Тополница претставува нерудна компонента и тоа: кварц во вид на самостојни зрна и сраснат со карбонати, биотит, хидросоли, плагиокласи со учество од 40%; фелдспати во вид на чист плагиоклас, карбонитизиран плагиоклас и хидросоли со учество од 20-30%. Од обоените минерали најмногу е застапен биотитот во вид на самостојни плочкасти агрегати и сраснат со други минерали; амфиболот, често хлоритизиран, во вид на самостојни зрна и сраснат со фелдспатот (Tudjarov et al. 1996).

Рудните минерали се еднообразни и тоа: пирит, мартинизиран магнетит и оксиди и хидроксиди на тенки земјести агрегати (Tudjarov et al. 1996).

9.2. Јаловинска брана Тополница

Најголемиот дел од флотациската јаловинска маса што се создава низ светот се одлага во јаловински брани. Овие брани најдобро се опишуваат како наменски изградени таложни езера во кои се приливаат ситнозрнестиот отпад и потрошената технолошка вода. Во светот постојат најмалку 3.500 јаловински брани (Davies and Martin 2000). Овие брани се движат во големината од само неколку хектари до илјадници хектари. Поради големината, од сите рударски дејности тие оставаат најголем отпечаток врз пејзажот (Lottermoser, 2007).

Локацијата на јаловинската брана Тополница е источно од погонот флотација, оддалечена околу 2.2 km (до браната на хидројаловиштето). Профилот на јаловинската брана се наоѓа на околу 500 m низводно од с. Тополница. Акумулацијата се протега низводно до устието на р. Тополница која се слива од с. Почивало во должина од околу 1000 m. Акумулациониот простор од обете страни е ограничен со планинските венци на Плачковица.

Самото место на кое е изградено јадрото на браната се наоѓа во амфиболитските шкрилци и гнајсевите кои на површината се распаднати и оголени.

Ширината на профилот на висината на котата на нагорнината изнесува 265 m. Во целина профилот е симетричен.

Пред изградбата на јадрото на браната биле извршени детални испитувања на геофизичките, геомеханичките, геохемиските и хидрогеолошките карактеристики на поширокиот терен.

Произведената бакарна руда од рудникот Бучим со просечно годишно производство од 4.000.000 t, се преработува во погонот флотација, при што по процесот флотирање на минералите на бакар, годишно просечно се издвојува флотациска јаловина од околу 3.950.000 t, која безбедно се одводнува и депонира на јаловинската брана.

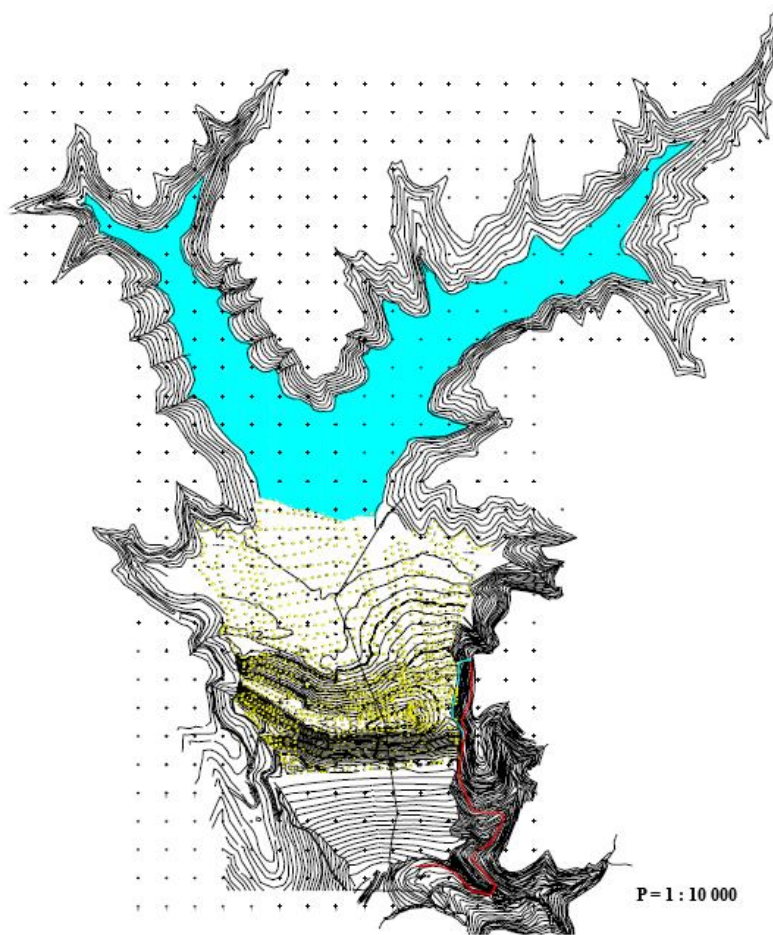
Јаловинската брана е изградена со преградување на речното корито на река Тополница со почетна – иницијална брана (кота 518 м.н.в), со висина од 30 m, над која е извршена изградба на постојната песочна јаловинска брана, прво низводно до кота 610 m, а потоа надвишена надводно (поради близина на селото Тополница) до постојната изградена кота 642 m.

Намената на хидројаловиштето е двострана:

- служи за трајно депонирање на флотациската јаловина, добиена во процесот по флотирање на минералите на бакар од рудата во индустрискиот погон флотација и
- служи за акумулирање на водите од сливното подрачје на Тополничка Река, како и регенерација на водите од процесот на производство на бакарен концентрат, односно избистрување на флотациската пулпа - јаловина (прочистување - одвојување на водата од јаловината) која како повратна – технолошка вода се враќа за користење во процесот на погонот флотација.

Денес браната е издигната до кота 642 m или поточно се гради ламелата на таа висинска точка. Во моментот браната (јаловиште) е со висина од 144 m и должина на круната над 800 m. Во овој простор се сместени 80 000 000 m³ јаловина од кои 25 000 000 m³ песок и 55 000 000 m³ мил (наталожен материјал во езерото). Односно флотациското јаловиште на рудникот Бучим содржи над 60 000 000 t маса со околу 0.04% Cu, <0.3 g/t Ag, < 0.3 g/t Au.

Површината на воденото огледало изнесува 64.7 ha, површината на т.н. плажа е 98 ha, телото на браната е околу 33.5 ha, од кои околу 16 ha се пошумени (слика 58).



Слика 58. Ситуација на
јаловинската брана
Тополница
Figure 58. Situation of
flotation tailing dam
“Topolnica”.

9.2.1. Хидрогеологија на јаловината

Изградбата на песочната – јаловинска брана на хидројаловиштето Тополница се врши по пат на хидроциклонирање (Слика 59). Со производот песок на хидроциклоните (масениот удел до 40 – 45%) се гради песочна брана (слика 60), а производот прелив на хидроциклоните (масениот удел до 55 – 60%), се испушта во таложното езеро на хидројаловиштето. Ова допушта максимално сушење и создава еднообразна површина.



Слика 59. Изградба на песочна-јаловинска брана по пат на хидроциклонирање.
Figure 59. Building of sand flotation tailing dam by hydro cycling.



Слика 60. Јаловинска брана Тополница – прсочна брана и таложно езеро.

Figure 60. Flotation tailing dam Topolnica – sand dam and sediment lake.

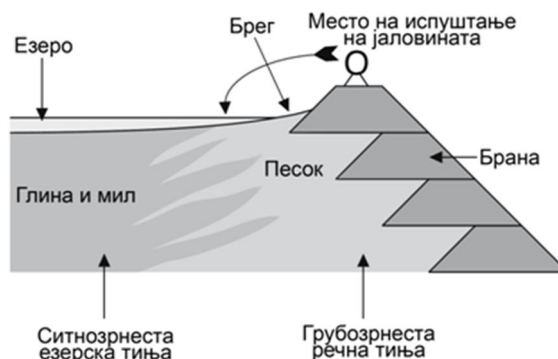
Цврстите честички се пренесуваат и слегнуваат во водна средина слична на тиња (слика 61). Текстурата, која личи на тиња, е вообичаена и аналогна на речните или на езерските средини (Robertson 1994). Вообичаени се и раслоени, степенувани, попречни и леќести текстури.

Јаловинските честички имаат различен минералошки состав и различна специфична тежина. Разликата во овие тежини одредува како поединечните честички ќе се одделат и ќе налегнат во браната. Претпочитаното натрупување и налегнување на различните честични големини и минерали се јавува зависно од стапката на испуштање, густината на испуштената каша, начинот на кој испуштената каша влегува во браната и од тоа дали површината на испуштање има јасен наклон (Robertson 1994). Општо земено, поголемите, потешките и честичките што личат на песок се сталожуваат близу до славините; помалите, полесните и поситнозрнестите честички слегнуваат далеку од славините. Ако се појават сулфиди во одредена честична големина, тоа ќе доведе до создавање јаловински талог збогатен со сулфиди. Продолженото површинско изложување на ваквата јаловина на атмосферскиот кислород или потповршинското изложување на растворен кислород во вадозната зона на јаловината може да доведе до локализирано создавање на АМД (Lottermoser, 2007).

Хидрауличното сортирање на јаловинските честички предизвикува грубозрнестиот дел да остане близу местото на испуштање, додека пак, ситнозрнестиот дел да се слева кон езерцето. Ваквата распространетост на честичните големини, исто така, доведува до зголемена хидраулична спроводливост кај грубозрнестата јаловинска маса. Погрубата јаловина побрзо се цеди од водата во однос на поситниот материјал, па близу сидот од браната нивото на подземната вода ќе биде помало (Younger et al. 2002).

Слика 61. Различни средини во јаловинската брана во кои се влева јаловинската каша (според Robertson 1994).

Figure 61. Depositional environments of a tailings dam receiving tailings slurries (after Robertson 1994).



9.2.2. Инцидентни ситуации

Јаловинските брани треба да се градат така што да може да го задржат отпадниот материјал бесконечно долго. Досега се забележани само две инцидентни ситуации, поголема и помала. Првиот инцидент се случил на 20.7.1998 год. При овој инцидент дошло до истекување на поголеми количества флотациска јаловина (околу 3000 m³) низ преливниот орган - односно колекторот од флотациското јаловиште на брана Тополница, при што овој материјал се депонирал по речното корито на река Тополница. Истекот на јаловина низ преливниот орган односно колекторот на хидројаловиштето бил последица на директен дефект на колекторот. По утврдување на дефектот преземени се мерки за изработување на санационо решение за интервенција и санација на колекторот.

Стабилноста на браната Тополница со дефектот на колекторот воопшто не била доведена во прашање, односно настанатиот дефект нема никакво негативно влијание врз стабилноста на браната. Тоа било потврдено со функционирањето на дренажниот и пиезометрискиот систем како витални органи за оценка на стабилноста на браната.

Санационите мерки на дефектот вклучија:

- комплетно чистење на речното корито;
- премостување на речното корито;
- зачепување на колекторот со бетонски чеп и
- најново - изградба на нов преливен орган.

Вториот инцидент е од понов датум, односно се случил на 13.2.2008 година. При овој инцидент дошло до истек на јаловина во речното корито на р. Тополница од 500 m³. Причина за овој инцидент е намерно уфрлување на поголем предмет (камен од околу 70 kg) во каналетите за транспорт на јаловина, на потегот непосредно до јаловиштето на препустот под патот до с. Тополница.

Инцидентот предизвикал застој во работата на флотацијата која резултирала со повеќекратна штета за рудникот од една страна и штета врз животната средина (речното корито на р.Тополница, од друга страна). Од страна на Бучим беше извршено итно отстранување на јаловината со помош на механизација.

9.3. Флотациското јаловиште Тополница како техногено наоѓалиште

Хидројаловиштето Тополница во иднина ќе претставува интересно техногено наоѓалиште, првенствено заради зголеменото присуство на Cu и Au. Затоа во наредниот период, големо внимание ќе се посвети на истражувањето на овие типови на наоѓалишта и современите методи на нивна експлоатација.

9.3.1. Вредности на технолошките показатели во подготовката на минералните сировини во рудникот Бучим

За оцена на резултатите и ефикасноста на процесите на концентрацијата се користат неколку основни технолошки показатели и нивните математички изрази.

Масено искористување M - претставува количество на добиен производ, изразен во проценти во однос на влезниот материјал.

$$M_k = \frac{K}{R} \cdot 100, M_j = \frac{J}{R} \cdot 100 = 100 - M_k$$

K - количество на концентрат

R - количество на преработена руда

J - количество на јаловина

M_k - масен удел на концентратот

M_j - масен удел на јаловината

Искористување на корисната компонента I претставува однос помеѓу нејзината маса во концентратот и рудата (влезниот материјал). Овој показател се изразува во проценти, а разликата до 100% ја претставува загубата на корисната компонента во јаловината.

$$I_k = \frac{k(r-j)}{r(k-j)} \cdot 100, I_j = 100 - I_k \text{ или } I_k = M_k \frac{k}{r}, I_k = M_k \cdot n_c$$

I_k -Распределба на корисната компонента во концентратот

I_j - Распределба на корисната компонента во јаловината

r -процентуална застапеност на корисната компонента во влезната руда

k -процентуална застапеност на корисната компонента во концентратот

j -процентуална застапеност на корисната компонента во јаловината

$$n_c - \text{Степена на концентрацијата} - n_c = \frac{r}{k}$$

Врз основа на овие податоци се составува метал – билансот на одреден рудник.

Технолошките параметри за рудникот Бучим во периодот од 1979 - 1998 година се прикажани во табелата 23.

Табела 23. Технолошките параметри за рудникот Бучим во периодот од 1979 – 1998 година.

Table 23. Technological parameters for the mine “Bucim” in the period from 1979 – 1998.

Годи-на / Year	Прерабо-тена руда (t)/ Reworked ore (t)	Содржина на метали во рудата / Contents of metals in the ore			Искористување(%)/ Usage (%)			Концен- трат (т) Concent rate (t)	Добиени метали во концетратот Metals received in the concentration		
		Cu %	Au %	Ag %	Cu	Au	Ag		Cu (t)	Au (kg)	Ag (kg)
1979	510000	0.360	-	-	61	-	-	5913	1096	46	46
1980	2645754	0.364	-	-	8024	-	-	43107	7330	331	286
1981	2396161	0.3	-	-	7532	-	-	29382	5396	-	-
1982	3415534	0.331	0.50	1	76.15	46.33	30.74	51824	8367	819	1104
1983	3826381	0.270	0.54	1	79.77	46.34	33.98	50519	8076	956	1203
1984	3176678	0.273	0.566	1.087	8371	57.48	35.57	42.858	7.091	1010	1200
1985	3236553	0.272	0.456	1.034	86.19	60.98	31.43	38.578	6.481	769	898
1986	3536058	0.283	0.488	0.968	81.41	59.53	29.01	50286	7904	995	960
1987	3060866	0.262	0.344	1.1	82.1	61.59	26.1	46.251	7549	743	970
1988	3899230	0.256	0.403	1.056	85.37	58.24	31.11	49.61	8.338	893	1.241
1989	3800400	0.243	0.352	0.869	86.6	58.29	28.85	46.562	7783	757	989
1990	3565150	0.249	0.349	0.929	86.97	63.20	34.17	45.309	7520	768	1106
1992	3601500	0.235	0.336	0.970	80.34	52.69	32.57	43.401	7415	624	1115
1993	3740000	0.236	0.317	0.894	87.36	58.54	30.06	43954	7543	680	984
1994	3419000	0.255	0.332	0.923	83.39	57.54	31.99	42.478	71.39	639	989
1995	3900700	0.244	0.346	0.907	87.5	57.33	28.17	47037	8159	759	975
1996	3911400	0.254	0.339	0.914	87.44	58.05	36	51423	8484	752	1255
1997	4123000	0.247	0.288	0.870	87.66	59.18	33.24	50371	8708	686	1165
1998	3707000	0.231	0.292	0.840	87.49	57.27	32.29	42347	7360	608	992
Вкупно/ Total	67691109							864751	145244	13504	18 415

Метал билансот за рудникот Бучим е преставен во следниве табели (табели 24 и 25).

Табела 24. Метал биланс на флотациска концентрација во Бучим по видови на руда.

Table 24. Metal balance of flotation concentration in “Bucim” in kinds of ore.

Вид на руда/ Type of ore	M%	Содржина/Contents				I Cu %
		Cu %	Cu %	Удел Cu	K/Cu	
Сульфидна/ Sulfide	62,39	0,274	0,0085	3,10	84.33	87,80
Средно сулфидна/ Medium sulfide	21,06	0,273	0,0199	7,29	15.67	83,32
Оксидна/ Oxygenized ore	16,55	0,341	0,0650	19,06	100.00	78,84

Табела 25. Метал-биланс на флотациската концентрација во рудникот Бучим по вид на производ.

Table 25. Metal balance of flotation concentration in the mine “Bucim” in kind of product.

Производ/ Product	M%	Содржина/Contents			Искористување/ Usage (I)		
		Cu%	Au (g/t)	Ag (g/t)	Cu	Au	Ag
Концентрат/ Concentrate	1.267	18.95	28.43	29.3	84.33	57.19	35.03
Јаловина/ Wastage	98.73	0.045	0.27	0.70	15.67	42.81	64.97
Влез/Input	100.0	0.285	0.63	1.06	100.0	0.00	100.0

Од метал билансот се гледа дека :

$$\begin{array}{lll}
 r_{Cu} = 0.285\% & j_{Cu} = 0.045\% & k_{Cu} = 18.95\% \\
 r_{Au} = 0.63\text{ g / t} & j_{Au} = 0.27\text{ g / t} & k_{Au} = 28.43\text{ g / t} \\
 r_{Ag} = 1.06\text{ g / t} & j_{Ag} = 0.70\text{ g / t} & k_{Ag} = 29.3\text{ g / t}
 \end{array}$$

Од погоре изнесеното, произлегува дека: при процесот на флотација во рудникот Бучим искористувањата изнесуваат: 85 – 90% за Cu, 55 – 60 % за Au, 28 – 35 % за Ag, а остатокот од 100% се одлага во јаловиштето. Магнетитот не се користи иако во рудата е присутен со околу 2%, односно во потполност оди во јаловиштето. Од кажаното произлегува дека искористувањето на Cu е добро, но се поставува прашањето што со 40 – 45 % злато, кое оди во јаловиштето.

Со оглед на процентната застапеност на златото во јаловината и цената на златото во последните стотина години, може да се заклучи дека во иднина со користење на соодветна нова технологија можна е економична експлоатација на златото од неговото техногено наоѓалиште.

9.3.2. Истражување на флотациските јаловишта како техногени наоѓалишта

Општа карактеристика на флотациските јаловишта како техногени наоѓалишта е што материјалот по флотирањето на рудната маса третирана како јаловина се транспортира и одлага на однапред одреден простор. Флотациската јаловина до јаловиштето се одведува во вид на воден раствор (пулпа) со фино измелени честички од рудните и јаловите минерали (Tudjarov et al. 1996).

Димензиите на јаловиштето зависат пред се од количината на материјалот кој доаѓа од флотацијата (која треба да биде позната), а обликот на истото зависи од конфигурацијата на избраниот простор за одлагање на истата.

Дотокот на јаловината, во вид на пулпа, е со различна концентрација на корисните компоненти (зависно од влезната руда и нивното искористување во текот на флотирањето) и затоа корисните компоненти честопати формираат слоеви (Tudjarov et al. 1996).

Како и кај останатите наоѓалишта на минерални сировини крајна цел на истражувањето е одредување на резерви, средна содржина на корисната компонента, карактер на појавување и нивна дистрибуција (Tudjarov et al. 1996).

Основен метод на истражување на овие лежишта е истражното дупчење со цел да се помине низ јаловиштето и да се достигне до бедрокот, односно неговата подлога. Од кажаното произлегува дека дупнатини се релативно плитки. Најголема променливост на содржините на компонентите треба да се очекува во правецот на дотокот на пулпата, а тоа е пред се пократката оска на јаловиштето (изометрични форми на јаловиштата се ретки бидејќи се користат долини на кои претходно се изградени брани).

Густината на мрежата на истражените дупнатини зависи од големината на наоѓалиштето и карактерот на променливоста на корисните компоненти во наоѓалиштето. Растојанието помеѓу истражните профили обично е 50 – 100 m, додека помеѓу истражните дупнатини по профилот е 20 – 40 m, а поретко и 10 m. Ваквите мрежи можат да се постават кај старите исушени јаловишта. Кај јаловиштата кои се во формирање, или се неодамна формирани и во нив се уште се наоѓа вода, истражните дупнатини ќе се постават на местата каде е можно да работи гарнитурата бидејќи поради неврзаниот материјал таа тоне во јаловиштето. Затоа истражните дупнатини се поставуваат само во пристапните делови на јаловиштето, што ја смалува репрезентативноста на собраните

податоци. Распоредот и растојанието на поедините истражни дупнатини се одредува посебно за секое јаловиште (Tudjarov et al. 1996).

Составен дел од истражувањето е и испитувањето на материјалот од дупнатините кој се зема на 1 m во должина од дупнатината. Со методите на геохемиско картирање треба да се испита материјалниот состав на јаловиштето, да се оценат резервите на металот во целина и по поедините слоеви односно делови. Со компјутерска обработка треба да се изработи карта на разместеноста на резервите во поедините делови. Исто така треба да се оцени состојбата на еколошката загаденост на околината и да се предложат најефективните мерки за зачувување на човековата околина (Tudjarov et al. 1996).

Познато е дека при експлоатацијата и обработката на рудата во флотацијата не се врши потполна екстракција на корисните компоненти, додека некои од нив во потполност се одлагаат во јаловиштето. Екстракцијата не се врши во потполност од повеќе причини: во моментот нема соодветна технолошка постапка за користење, ниски содржини кои во моментот на експлоатација не овозможуваат рентабилно користење, делумно користење на компонентата итн.

9.3.3. Истражување на флотациското јаловиште во Бучим и негова вредносна оценка

Имајќи ги во предвид специфичната тежина на златото и магнетитот и течната состојба на јаловината, направен е обид флотациското јаловиште да се истражува како техногено наоѓалиште пред се третирајќи го златото, каде има услови за негова гравитациона концентрација. За остварување на поставената цел направени се почетни чекори за испитување на таков тип на наоѓалишта во текот на 1992 год., веројатно првпат во Македонија, во соработка со ИМГРЕ од Москва, односно договорено е да се изврши следното (Tudjarov et al. 1996):

1. Специјалистичко картирање на јаловиштето со земање на оптимален број на проби по одредена мрежа и анализирање на Au и компонентите што го следат;
2. Изготвување на карти и профили за да можат да се оценат количините на корисните метали;
3. Аналитичко испитување на пробите со Au, одредување на гранулометричкиот состав, фазен состав на Au честички и карактеристики на нивните

- микросраснувања, одредување на технологијата за дезинтеграција на честичките до добивање на слободно Au, кое потоа лесно би се извлекло;
4. Одредување на подобри оптимални механичко – хемиски и други ефективни методи за дезинтеграција на срасоците од дисперзното злато врзано со силикатите, оксидите и сулфидните компоненти и
 5. Одредување соодветна метода за биогено извлекување на корисните метали како и физичко – хемиските и механичките особини на техногените состојки со Au. Да се оцени економската оправданост на повторно истражување на јаловиштето, како техногено наоѓалиште, вклучувајќи ја постоечката технолошка инфраструктура и предлагање на модел.

За таа цел земени се 180 проби од три дупнатини распоредени на круната од јаловиштето и истите се испратени во ИМГРЕ – Москва на испитувања, од каде произлегува следното (Tudjarov et al. 1996):

а) Застапеноста на златото, како елемент на разгледување, не покажува зависност од големината на честичките и не може да се користи како критериум при збогатувањето;

б) Констатирано е дека златото е поврзано со рудните минерали, а поради непровидноста не е регистрирано под микроскоп.

Со цел да се одреди формата и начинот на појавување на златото (не е идентификувано со микроскоп), направени се фазни хемиски анализи, од каде произлегува дека Au е врзано со: пиритот, заостанатиот халкопирит, а се среќава како самородно ситно дисперзно, вклучено со кварцот и слободно.

Од сите 180 проби издвоени се две одваги и анализирани се на семиквантитативни (спектрални) анализи на 40 елементи и квантитативни на 16 елементи.

Добиените податоци се обработени во компјутерскиот пакет „Геоскан-Технологија“ при што е добиена диспозиција на слоевите со зголемена содржина на злато. Во јаловиштето се јавуваат секундарни збогатувања на злато во три нивоа, каде содржината се движи во рамки од 0,1-0,7 g/t. Ритмичкото издвојување на слоевите збогатени со злато е резултат на циклична обработка на руда со различна содржина на злато.

Значајни количини на бакар, злато и сребро се наоѓаат во јаловината депонирана во хидројаловиштето Тополница на рудникот Бучим.

Во рамките на отстранетиот материјал депониран во хидројаловиштето Тополница средната содржина на бакар, злато и сребро е 0,04% Cu, <0,3 g/t Au и <0,3 g/t Ag, така што во блиска иднина би можело да се врши и експлоатација на овие корисни компоненти и од овој отстранет материјал со употреба на соодветна техника. Исто така, во рамките на јаловината депонирана во хидројаловиштето на рудникот Бучим, се среќаваат и одредени придружни метали како што се Se, Sb, Te, Pb, Zn, Ga, W, Mo и др. кои дополнително го зголемуваат економското значење на хидројаловиштето Тополница.

Во хидројаловиштето Тополница се депонирани околу 60 000 000 t јаловина (при што се земени во предвид загубите предизвикан со истекувањата на јаловина во минатото и разните растурања на јаловината со вода, воздух и др.).

Цената за Cu на 26.3.2012 год. е 8.450 USD/t (London Metal Exchange).

Така, вредноста на техногеното наоѓалиште на Cu врзано за јаловината од хидројаловиштето на рудникот Бучим во овој момент изнесува:

- искористување:

$$Cu = C_{Cu} \times E_e \times E_o \times E_m = 0,04 \times 0,92 \times 0,95 \times 0,96 = 0,033\%$$

каде што:

C – средна содржина на корисна компонента

E_e – искористување при експлоатација

E_o – искористување при збогатување

E_m – искористување при металургија

Вкупна вредност на техногеното наоѓалиште на Cu врзано за хидројаловиштето Тополница:

$$Cu_{\text{хидројаловиште}} = 8\,450 \times 0,00033 \times 60\,000\,000 = 167\,310\,000 \text{ USD}$$

9.4. Можности за рециклирање на флотациската јаловина

Замената за одлагањето на јаловината е таа да се искористи. На пример, мангановата јаловина може да се искористи во шумарството или за производство на премачкувачи, смоли, стакло, керамика, глазури, или пак, како градежно средство или средство за сврзување (Verlaan and Wiltshire, 2000). Јаловината од базните метали и од нискокоефициентните метални руди може да се насади со погодни растителни видови што го извлекуваат металот од подлогата (Lottermoser, 2007). Фитоекстракцијата не само што ги извлекува металите од отпадот туку и го претвора опасниот материјал во „добродушен“ отпад

со многу помала метална концентрација. Во денешно време големо внимание се посветува и на фиторударењето, како дел од рударството на иднината.

9.4.1. Пресметка на трансфер факторот на системот техногена почва – растение во рудникот Бучим

Кореновиот систем на растенијата функционира како моќен механизам за впивање на голем обем на раствори од влажната земја. Неорганските соли содржани во растворот обично се депонираат во повисоките делови од растенијата. Затоа, растенијата реализираат две важни функции во средината каде тие живеат: тие раствораат и впиваат метали и други контаминанти од земјата. Како концентрирачи на метали и други неоргански супстанции во нивните тела, растенијата се употребуваат како корисно средство за биогеохемиски истражувања на подповршинските извори уште во пионерските дела на В. М. Голдшмит во почетокот на 1930-те (Sagiroglu et al. 2005).

Способностите за внесувањето на метали кај растенијата се разликуваат во големи интервали и растенијата кои апсорбираат високи количини на метали се дефинирани како „растенија хиперакумулатори“. Критериумите за „растенијата хиперакумулатори“ се дефинирани како содржини на метал во сува материја ($Cd > 100 \text{ mg/kg}$, $Cu > 1000 \text{ mg/kg}$, $Pb > 1000 \text{ mg/kg}$, $Zn > 10.000 \text{ mg/kg}$), способност за акумулирање на тешки метали во надземните делови на растението од 10 до 500 пати повеќе отколку во вообичаените растенија, како и трансфер фактор > 1 (Mendez and Maier, 2008).

Способноста на некои растенија и микроорганизми да влијаат врз кружното движење на металите може да се искористи за чистење на почвите, на тињата, на водите и на отпадите загадени со метали. Растенијата, веќе некое, време се користат за отстранување, или за прицврстување на загадувачите и таа постапка обично се нарекува фитопоправање (Brooks, 1998). Фитопоправањето првпат било применето во 19. век, кога надлежните власти почнале да ги пречистуваат комуналните отпадни води и системите за наводнување. Денес, фитопоправањето е нова технологија за обновување на загадените рударски средини (Johansson et al. 2005). Техниката на фитопоправање може да се подели на следниве стратегии:

- *Фитостабилизација*. Растенијата ги преобразуваат токсичните облици на металите во нетоксични облици. Оваа техника ги искористува видовите растенија отпорни кон метали за прицврстување на тешките метали во зоната

на кореновиот систем. Корењата ги апсорбираат и ги натрупуваат металите, ги апсорбираат на својата површина или ги сталожуваат во кореновата зона. Со оваа постапка се намалува подвижноста и биодостапноста на металите (слика 62).

- *Ризофилтрација*. Растворените тешки метали – околу кореновиот систем – се апсорбираат, или се сталожуваат врз корењата, или пак, се апсорбираат во корењата. Техниката е покорисна за чистење на подземните води отколку на почвите и на отпадот.
- *Фитоекстракција*. Оваа техника подразбира внесување на скапоцените и на тешките метали од коренот до надземната растителна маса (т.е. метални акумулатори). Фитоекстракцијата се состои од посадување растение – хиперакумулатор врз загадено место. По ова следува жнеење на растението и согорување на биомасата за да се создаде метален концентрат што потоа ќе се одложи. Идеалното растение што треба да се засади заради фитоекстракција треба да има обемна биомаса, да расте добро во средина богата со метали и да ги натрупува металите во големи концентрации. Постојат природни хиперакумулатори за цела низа метали (Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Se, Tl, U, Zn). Но голем дел хиперакумулатори бавно растат и создаваат малку биомаса. Постои и поинаков пристап, брзорастечките видови генетски да се изменат за да се подобри нивната подносливост кон металите и способноста за нивно натрупување (Pilon – Smits et al. 2000). Клучно ограничување за внесувањето на металите во растенијата е нивната растворливост во зоната на кореновиот систем зашто металите мора да се растворени во почвениот раствор за растенијата да можат да ги внесат. Природната растворливост на металите може вештачки да се поттикне со додавање погодна хемикалија во подлогата во која растението расте. Агенсите за создавање комплекси раствораат дополнителни метали, на тој начин правејќи ги биодостапни за растенијата да можат да ги внесат во себе. Поттикнувата фитоекстракција е особено интересна за компаниите зашто примената на хелати може да го зголеми природното внесување на едни метали и да го поттикне внесувањето на некои други (Alderson et al. 1998).

Заменска стратегија за фитопоправањето е фиторударењето (Robinson et al. 1997; Anderson et al. 1999). Со оваа технологија, хиперакумулаторите не се

користат само за отстранување на металите од подлогата, туку се користат и за добивање биолошка руда богата со метали за топлински потреби. Растенијата ги натупуваат металите во жетвените растителни делови, потоа растителното ткиво се отстранува, се согорува во пепел и се извлекуваат металите. Во поголем број случаи фиторударењето се спроведува врз нискоефициентните руди или врз отпадот, како што е јаловината, што содржат премногу ниска метална концентрација за да се примени конвенционално извлекување. Фиторударењето претставува нова технологија и служи за „чистење“ на рудите и на отпадот до плитка длабочина. Има многубројни предности и единствени особености, поради што може да стане дел од рударството на иднината.



Слика 62. Шематски приказ на механизмот на фитостабилизација вклучувајќи ја преципитацијата на металите од бактериите и површината на корењата, преципитацијата на металите при излужувањата од бактериите и корењата, бактериската апсорпција и апсорпцијата на металите од страната на корењата. При фитостабилизацијата, акумулацијата на металите во ткивата на лисјата и гранките не е пожелна (Mendez and Maier, 2008).

Figure 62. Schematic showing phytostabilization mechanisms including precipitation of metals by bacterial and root surfaces, precipitation of metals by bacterial and root exudates, bacterial uptake and sequestration of metals, and root uptake of metals. In phytostabilization, accumulation of metals in plant shoot tissues is undesirable (Mendez and Maier, 2008).

Овде се разгледувани способностите за внесување на метали кај видот на растение *Robinia Pseudoacacia*, со кое во текот на 1997 и 1998 год. се пошумени околу 16,72 ha површина од падините на браната на флотациското

хидројаловиште Тополница на рудникот Бучим (Trendafilov et al. 2010), а се разгледувани и влијанијата на хиперакумулацијата врз животната средина.

9.4.1.1 Трансфер фактор (TF) од почва до растение

Трансферот од почва до растение е една од клучните компоненти на изложеноста на дивите и домашните животни и човекот на метали преку синџирот на исхрана. За да се испита трансферот на тешките метали од почва до растение, вредностите на трансфер факторот (TF) на тешките метали се пресметуваат на следниов начин (Šmuc et al. 2011):

$$TF = C_{\text{растение}} / C_{\text{почва}}$$

каде $C_{\text{растение}}$ и $C_{\text{почва}}$ означуваат концентрации на тешки метали во растителни култури (*Robinia Pseudoacacia*) и почва, каде што растителните култури се засадени и се одгледуваат. Во ова испитување, се користат вредности на концентрациите на металите утврдени во растението *Robinia Pseudoacacia* и техногената почва од флотациското јаловиште и складот на дробена руда во рудникот Бучим.

9.4.1.2. Проучувано растение

Испитуваното растение (*Robinia Pseudoacacia*) е одбрано затоа што во првата фаза на биолошка рекултивација на браната на флотациското хидројаловиште Тополница во текот на 1997 – 1998 год. најповеќе е употребено во процесот на пошумување (слика 63). Во оваа фаза е пошумена површина од 16,72 ha, од ниво 511 m на ниво 610 m (Trendafilov et al. 2010).

Способноста за колонизирање и напредување во многу загадена техногена почва во област со медитеранска и умерено – континентална клима и длабокото достигнување на кореновиот систем се другите критериуми што се користат при изборот на растението. Проучуваното растение ги исполнува сите критериуми. Растението и неговите основни биолошки карактеристики се:

Багрем (лат. *Robinia pseudoacacia*) е листопадно дрво кое припаѓа на родот *Robinia*. Потекнува од југоисточниот дел на САД, но ареалот на ова растение е проширен на Северна Америка, Европа и Азија. Во некои подрачја се смета како инвазивно растение (Диклић, 1972).

Кореновиот систем е добро развиен. Со неговиот длабок раст, багремот ефикасно спречува ерозија на почвата. Стеблото може да порасне во висина и до 25 m, а неговата дебелина може да достигне и до 50 cm.

Багремот е многу значаен за пчеларството бидејќи пчелите од неговите цветови прават убав ран мед. Исушените листови од багрем служат како лисник кој се користи за исхрана на сите домашни животни (овци, кози), во зимскиот период. Дрвото од багрем се користи како градежен материјал, изработка на паркет, а е и квалитетно огревно дрво.

Багремот се прилагодува на секаков тип на земјиште, па со овој вид се пошумени многу голи терени.



Слика 63. Подготовка на контурни редови (1997) (лево). Рекултивирано земјиште (Септември 2005) (десно).

Figure 63. Preparation of contour rows (1997) (left). The reclaimed land (September 2005) (right).

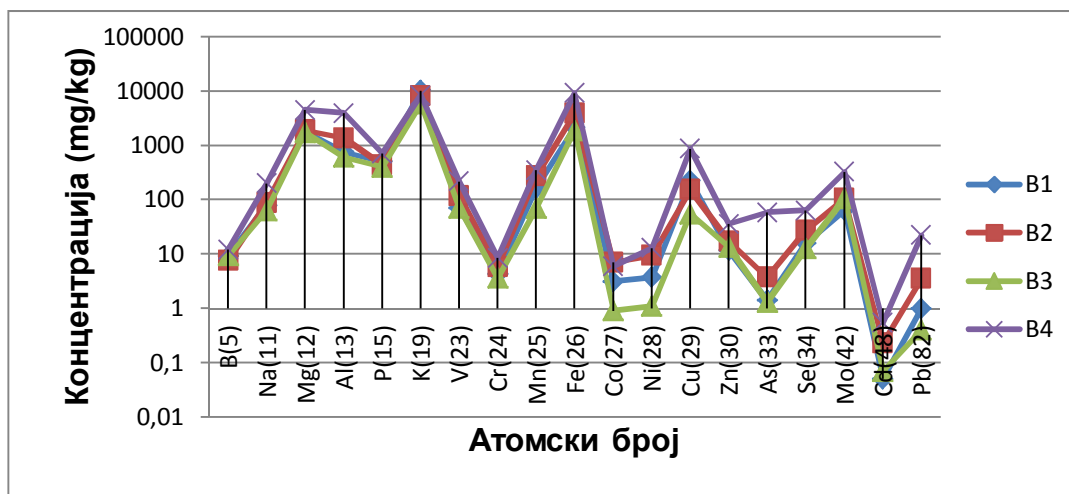
9.4.2. Резултати од пресметка на трансфер факторот

Акумулациите на метал во четирите примероци од корен и стебло од багрем и поврзаните примероци од техногени почви од различни локации во рудникот Бучим се презентирани во табела 26. Покрај тоа податоците се претставени и како дијаграми (слики 64 и 65).

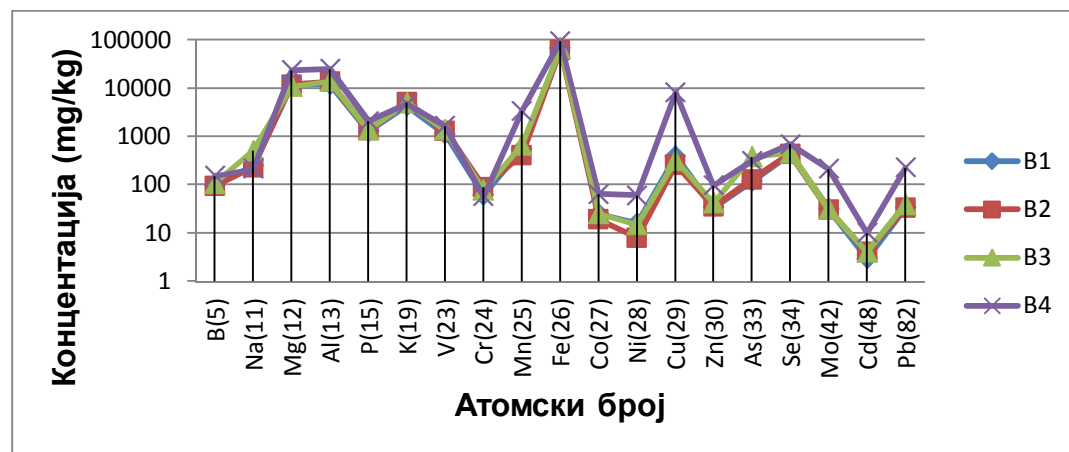
Сликата 66 ги прикажува пресметаните TF вредности за трансферот на испитуваните елементи од техногента почва до коренот и младите гранки од примероците багрем.

Просечните трансфер фактор вредности за тешките метали вклучувајќи ги As, Cd, Cu, Mo, Pb, Zn, Ni, Co, Cr, V и Mn во примероците од корен и млади гранки од багрем, се 0.06, 0.04, 0.36, 2.63, 0.06, 0.38, 0.44, 0.15, 0.08, 0.08 и

0.29, покажувајќи ја просечната акумулација ($TF = 0.01 - 3.0$). Трендовите на TF вредностите за тешки метали во примероците од багрем се во следниот опаѓачки редослед: $Mo > Ni > Zn > Cu > Mn > Co > V > Cr > Pb > As > Cd$. Овие вредности означуваат мала ($TF = 0.001 - 0.01$) и просечна акумулација ($TF = 0.01 - 1.0$) (Šmuc et al. 2011). Вредностите за $TF > 1$, го надминуваат хиперакумулациониот критериум за испитуваниот елемент (Sagiroglu et al. 2005), а во тој случај растението спаѓа во групата на „растенија хиперакумулатори“. Високите трансфер фактор вредности се карактеристични за повеќе мобилни/достапни елементи (Šmuc et al. 2011). Според тоа, високите TF вредности за Cu , Zn , Ni и Co покажуваат просечна акумулација кај растението *Robinia pseudoacacia*, а екстремно високата вредност на TF за Mo го надминува дефинираниот критериум за „хиперакумулација“.



Слика 64. Концентрации на различни елементи во пробите од корен и гранки од багрем.
Figure 64. Concentrations of different elements in the trials of roots and branches from acacia.



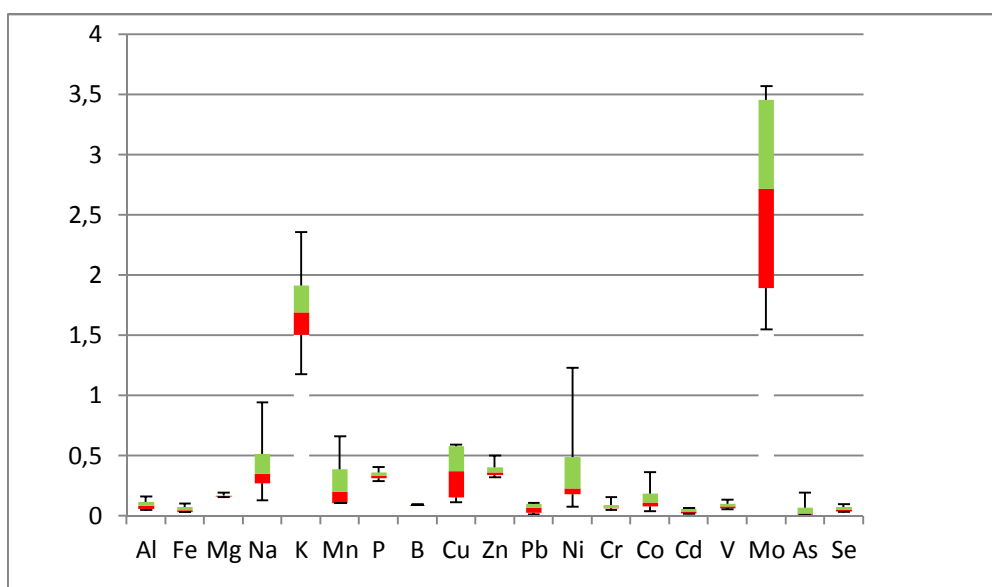
Слика 65. Концентрации на различни елементи во пробите од техногени почви.
Figure 65. Concentration of different elements in the trials of technogene soils.

Табела 26. Содржина на метал во техногена почва и гранки и корен од проучуваното растение *Robinia pseudoacacia* (сите вредности се во mg/kg) (TF – Трансфер фактор).

Table 26. Contents of metal in technogene soil and branches and root from the studied plant *Robinia pseudoacacia* (all the values are in mg/kg) (TF – Transfer factor).

		B1/BJ1	B2/BJ2	B3/BJ3	B4/BR4
Al	техногена почва/ Technogene soil	12234	13607	13967	24985
	корен и гранки/ Roots and branches	758	1360	609	392
	TF	0.06	0.09	0.04	0.15
Fe	техногена почва/ Technogene soil	68456	61194	66216	94049
	корен и гранки/ Roots and branches	2115	3858	1992	9240
	TF	0.03	0.06	0.03	0.09
Mg	техногена почва/ Technogene soil	11605	11802	10895	23314
	корен и гранки/ Roots and branches	17870	1921	1746	4461
	TF	0.15	0.16	0.16	0.19
Na	техногена почва/ Technogene soil	249	230	506	214
	корен и гранки/ Roots and branches	79	86	63	200
	TF	0.32	0.37	0.12	0.94
K	техногена почва/ Technogene soil	4345	5084	5030	4741
	корен и гранки/ Roots and branches	10220	8185	5914	8377
	TF	2.35	1.61	1.17	1.77
Mn	техногена почва/ Technogene soil	545	412	666	3355
	корен и гранки/ Roots and branches	163	270	70	351
	TF	0.29	0.65	0.10	0.10
P	техногена почва/ Technogene soil	1261	1356	1399	2059
	корен и гранки/ Roots and branches	507	435	402	711
	TF	0.40	0.32	0.28	0.34
B	техногена почва/ Technogene soil	98	94	107	151
	корен и гранки/ Roots and branches	9.2	7.5	9.4	12.1
	TF	0.09	0.08	0.09	0.08
Cu	техногена почва/ Technogene soil	391	260	322	8187
	корен и гранки/ Roots and branches	224	153	55	875
	TF	0.57	0.59	0.17	0.11
Zn	Техногена почва/ Technogene soil	34	35	42	96
	корен и гранки/ Roots and branches	11.7	17.2	13.4	35.7
	TF	0.34	0.49	0.31	0.37
Pb	техногена почва/ Technogene soil	34	33	39	225
	корен и гранки/ Roots and branches	1.0	3.5	0.4	22.4
	TF	0.03	0.10	0.01	0.10
Ni	техногена почва/ Technogene soil	16	8	15	60
	корен и гранки/ Roots and branches	3.7	9.3	1.1	12.9
	TF	0.24	1.23	0.07	0.21
Cr	техногена почва/ Technogene soil	61	89	77	57
	корен и гранки/ Roots and branches	4.3	5.8	3.6	8.5
	TF	0.07	0.06	0.05	0.15
Co	техногена почва/ Technogene soil	25	19	25	64
	корен и гранки/ Roots and branches	3.1	7.0	0.9	6.0
	TF	0.12	0.36	0.04	0.09
Cd	техногена почва/ Technogene soil	3	4	4	10
	корен и гранки/ Roots and branches	0.05	0.23	0.07	0.55
	TF	0.01	0.06	0.02	0.05
	техногена почва/ Technogene soil	1144	1303	1375	1654

V	корен и гранки/ Roots and branches	71	118	71	218
	TF	0.062	0.09	0.05	0.13
Mo	техногена почва/ Technogene soil	32	30	31	212
	корен и гранки/ Roots and branches	64	105	106	327
	TF	2.01	3.56	3.42	1.54
As	техногена почва/ Technogene soil	119	129	382	310
	корен и гранки/ Roots and branches	1.4	3.7	1.3	58.2
	TF	0.01	0.03	0.003	0.19
Se	техногена почва/ Technogene soil	445	433	459	686
	корен и гранки/ Roots and branches	15.6	26.9	12.6	63.7
	TF	0.03	0.06	0.03	0.09
Ag	техногена почва/ Technogene soil	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8
	корен и гранки/ Roots and branches	<0.21	<0.21	<0.21	<0.21



Слика 66. Вредности на трансфер факторот (TF – transfer factor) за испитувани елементи во примероци од корен и гранки од багреми во околината на рудникот Бучим.

Figure 66. Values of the transfer factor (TF – transfer factor) for examined elements in samples of corn and brunches of acacia in the area surrounding the mine Bucim.

Слично на тоа, со примена на биваријантна статистика е утврден степенот на поврзаност помеѓу концентрациите на испитуваните елементите во примероците од техногена почва и примероците од *Robinia pseudoacacia*. Вредностите за содржината на секој елемент од примероците на *Robinia pseudoacacia* беа корелирани со вредностите за содржината на сите други елементи од примероците техногена почва. Заради појасен преглед сите корелациони коефициенти помеѓу сите елементи се претставени во матрица со коефициенти на корелација (табела 27). Резултатите покажаа дека во техногената почва и примероците од *Robinia pseudoacacia*, Cu, Mo, Pb, Zn и Cd имаа слични геохемиски карактеристики и однесување.

Општо земено, резултатите за TF ($\text{Mo} > \text{Ni} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Mn} > \text{Co} > \text{V} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Cd}$) во голема мера отстапуваат од последователноста на екстракционите резултати, каде што проучуваната мобилност на тешките метали се проценува да биде по следниот редослед: $\text{Cd} > \text{Mo} > \text{Sb} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{As} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Ag}$ (Šmuc et al. 2011).

Интересно е дека TF вредностите за Mo, Zn, Cu ги надминуваат вредностите за Cd, а генерално се слични со резултатите од студии за екстракција на тешки метали од високо контаминирани почви во рударски области (Sagiroglu et al. 2005). Во случајот на Mo, кој игра важна улога во нитрат – редуктазата (редуктаза е ензим кој е катализатор на редукционна реакција) за азотна фиксација (Hokura et al. 2000), интересна е многу активната апсорпција на Mo. Mo е умерено мобилен во растенијата, но формата на пренесување на молибденот е непозната (Kabata – Pendias and Pendias, 2001). Сепак, површинските техногени почви вклучени во ова испитување се карактеризираат како добро површински аерирани (оксидирани) кисели почви (слика 67), што значи дека Mo може да биде лесно мобилен и достапен за растенијата (Šmuc et al. 2011).



Слика 67. Отворен профил на јаловина кај хидројаловиштето Тополница од каде се земени примероците од корен и стебло (B1) и јаловина (BJ1). Овде јасно се воочува зоната на хипергено проветрување со жолта боја, моќна 0.5 – 1.50 m. Примероците од корен и млади гранки од багреми на оваа локација содржат 0.022% Cu и 0.0064% Mo.

Figure 67. Open profile of wastage near the hydro – wastage Topolnica where the samples from root and tree trunks (B1) and wastage (BJ 1) are taken. Here it is clearly seen the area of hypergenic airing with yellow, powerful 0.5 – 1.50 m. the samples from root and young branches from acacia on this location contain 0.022% Cu and 0.0064% Mo.

Проучуваното растение багрем (лат. *Robinia pseudoacacia*) е широко распространето во областа на рудникот Бучим. Неговиот добро развиен и длабоко продрен коренов систем, висок површински раст и способност да живее во тешки климатски услови, го прави ова растение многу ефикасно во контрола на ерозијата. Истото успешно е применето во процесот на рекултивација на хидројаловиштето Тополница.

Биохемиските функции на ова растение се, исто така, извонредни како акумулатор на метали Mo, Ni, Zn, Cu, Mn, Co и V со фактор на обогатување до 3.56 за Mo. Растенијата, кои акумулираат големи количини на метали во нивните ткива, се класифицираат како хиперакумулаторски растенија. Растенијата хиперакумулатори се сметаат за добри поправачи на контаминираниите земји заради рударските и другите индустриски активности (Sagiroglu et al. 2005). Научниците во корист на овој став тврдат дека растенијата со способност за акумулација на метали може да ги извлечат металите од контаминираниите средини. Меѓутоа, ова тврдење не ги објаснува штетните последици од претворањето на металите во лесно растворливи органски компоненти. Метал – органските компоненти се или проголтани од животните (со што играат повеќе штетни улоги во органскиот циклус од нивната релативно стабилна форма на неоргански соединенија како силикати, сулфиди или оксиди) или распаднати, ослободувајќи метали во лесно растворливи јонски форми кои може лесно да се внесат во телата на организмите. Со други зборови, растенијата хиперакумулатори ја зголемуваат количината на мигративен метал и мигративната брзина во органскиот циклус. Всушност ова добро се манифестира со кората од багрем која е многу токсична за дивите и за домашните животни ако истата ја користат при исхрана, предизвикувајќи дигестивни болести, слабост, срцева анемија, абдоменални болки и депресија (Диклић, 1972). Затоа, растенијата хиперакумулатори треба да се сметаат и третираат како растенија кои ги екстрахирале металите од стабилни, или семи (полу)стабилни фази од длабочината и ги вовлекле кон површината како мобилни форми и фази. Еден добар пример може да биде Cu, кој е умерено мобилен во површински и подповршински услови (324 mg/kg просечна содржина во флотациската почва), но може да се акумулира во растението багрем и до 0.6 пати.

Табела 27. Матрица на коефициенти на корелација за односите помеѓу вкупната содржина на метали во површинската техногена почва и примероците од корен и гранки од багрем (лат. *Robinia Pseudoacacia*) (означените корелации покажуваат тесна и многу тесна врска, со практично значење помеѓу испитуваните елементи).

Table 27. Matrix of coefficient of correlation for the relations between the total contents of metals in the surface technogene soil and samples and samples from root and branches from acacia (lat. *Robinia Pseudoacacia*) (the marked correlations show close and very close connection, with a practical meaning between the researched elements).

Багрем/ почва(s)	Al (s)	Fe (s)	Mg (s)	Na (s)	K (s)	Mn (s)	P (s)	B (s)	Cu (s)	Zn (s)	Pb (s)	Ni (s)	Cr (s)	Co (s)	Cd (s)	V (s)	Mo (s)	As (s)	Se (s)
Al	<u>0.97</u>	<u>0.92</u>	<u>0.99</u>	-0.54	-0.03	<u>0.96</u>	<u>0.97</u>	<u>0.92</u>	<u>0.97</u>	<u>0.95</u>	<u>0.97</u>	<u>0.93</u>	-0.49	<u>0.94</u>	<u>0.97</u>	<u>0.87</u>	<u>0.97</u>	0.25	<u>0.96</u>
Fe	<u>0.97</u>	<u>0.90</u>	<u>0.98</u>	-0.55	0.01	<u>0.95</u>	<u>0.96</u>	<u>0.90</u>	<u>0.96</u>	<u>0.94</u>	<u>0.96</u>	<u>0.91</u>	-0.45	<u>0.92</u>	<u>0.96</u>	<u>0.87</u>	<u>0.96</u>	0.23	<u>0.94</u>
Mg	<u>0.99</u>	<u>0.97</u>	<u>0.99</u>	-0.45	-0.10	<u>0.99</u>	<u>0.99</u>	<u>0.97</u>	<u>0.99</u>	<u>0.99</u>	<u>0.99</u>	<u>0.98</u>	-0.59	<u>0.98</u>	<u>0.99</u>	<u>0.89</u>	<u>0.99</u>	0.34	<u>0.99</u>
Na	<u>0.97</u>	<u>0.95</u>	<u>0.99</u>	-0.55	-0.14	<u>0.97</u>	<u>0.96</u>	<u>0.94</u>	<u>0.99</u>	<u>0.96</u>	<u>0.98</u>	<u>0.96</u>	-0.59	<u>0.96</u>	<u>0.97</u>	<u>0.84</u>	<u>0.99</u>	0.24	<u>0.97</u>
K	-0.04	0.13	0.13	-0.80	-0.81	0.04	-0.08	-0.06	0.08	-0.03	0.05	0.08	-0.46	0.06	-0.05	-0.37	0.08	-0.80	0.03
Mn	0.73	0.63	0.79	-0.84	-0.02	0.70	0.71	0.60	0.74	0.67	0.73	0.65	-0.22	0.66	0.71	0.59	0.74	-0.23	0.68
P	<u>0.90</u>	<u>0.96</u>	<u>0.96</u>	-0.60	-0.4	<u>0.94</u>	<u>0.89</u>	<u>0.90</u>	<u>0.95</u>	<u>0.91</u>	<u>0.94</u>	<u>0.95</u>	-0.77	<u>0.95</u>	<u>0.90</u>	0.70	<u>0.95</u>	0.13	<u>0.93</u>
B	<u>0.87</u>	<u>0.96</u>	<u>0.87</u>	-0.12	-0.32	<u>0.92</u>	<u>0.87</u>	<u>0.95</u>	<u>0.90</u>	<u>0.91</u>	<u>0.90</u>	<u>0.95</u>	-0.83	<u>0.94</u>	<u>0.87</u>	0.77	<u>0.90</u>	0.56	<u>0.92</u>
Cu	<u>0.95</u>	<u>0.97</u>	<u>0.99</u>	-0.56	-0.26	<u>0.97</u>	<u>0.94</u>	<u>0.93</u>	<u>0.98</u>	<u>0.95</u>	<u>0.98</u>	<u>0.97</u>	-0.68	<u>0.97</u>	<u>0.95</u>	<u>0.80</u>	<u>0.98</u>	0.21	<u>0.97</u>
Zn	<u>0.99</u>	<u>0.91</u>	-0.46	-0.46	0.05	<u>0.96</u>	<u>0.98</u>	<u>0.93</u>	<u>0.97</u>	<u>0.97</u>	<u>0.98</u>	<u>0.93</u>	-0.45	<u>0.94</u>	<u>0.98</u>	<u>0.92</u>	<u>0.98</u>	0.33	<u>0.96</u>
Pb	<u>0.99</u>	<u>0.95</u>	<u>0.99</u>	-0.49	-0.07	<u>0.98</u>	<u>0.98</u>	<u>0.95</u>	<u>0.99</u>	<u>0.97</u>	<u>0.99</u>	<u>0.96</u>	-0.54	<u>0.97</u>	<u>0.98</u>	<u>0.89</u>	<u>0.99</u>	0.3	<u>0.98</u>
Ni	0.76	0.65	<u>0.80</u>	-0.77	0.08	0.72	0.75	0.63	0.76	0.71	0.75	0.67	-0.17	0.68	0.74	0.66	0.76	-0.14	0.71
Cr	<u>0.90</u>	<u>0.82</u>	<u>0.93</u>	-0.67	0.01	<u>0.87</u>	<u>0.89</u>	<u>0.81</u>	<u>0.90</u>	<u>0.86</u>	<u>0.90</u>	<u>0.83</u>	-0.36	<u>0.85</u>	<u>0.89</u>	0.79	<u>0.90</u>	0.06	<u>0.87</u>
Co	0.42	0.27	0.48	-0.84	0.16	0.36	0.40	0.24	0.42	0.34	0.40	0.29	0.15	0.31	0.39	0.32	0.42	-0.47	0.31
Cd	<u>0.95</u>	<u>0.85</u>	<u>0.95</u>	-0.53	0.11	<u>0.92</u>	<u>0.95</u>	<u>0.88</u>	<u>0.93</u>	<u>0.92</u>	<u>0.93</u>	<u>0.87</u>	-0.34	<u>0.89</u>	<u>0.94</u>	<u>0.89</u>	<u>0.93</u>	0.24	<u>0.91</u>
V	<u>0.95</u>	<u>0.86</u>	<u>0.96</u>	-0.55	0.07	<u>0.92</u>	<u>0.95</u>	<u>0.88</u>	<u>0.94</u>	<u>0.92</u>	<u>0.94</u>	<u>0.89</u>	-0.38	<u>0.90</u>	<u>0.94</u>	<u>0.87</u>	<u>0.94</u>	0.22	<u>0.92</u>
Mo	<u>0.99</u>	<u>0.94</u>	<u>0.98</u>	-0.34	0.05	<u>0.98</u>	<u>0.99</u>	<u>0.97</u>	<u>0.98</u>	<u>0.99</u>	<u>0.98</u>	<u>0.96</u>	-0.49	<u>0.97</u>	<u>0.99</u>	<u>0.95</u>	<u>0.98</u>	0.46	<u>0.98</u>
As	<u>0.99</u>	<u>0.97</u>	<u>0.99</u>	-0.44	-0.09	<u>0.99</u>	<u>0.99</u>	<u>0.97</u>	<u>0.99</u>	<u>0.99</u>	<u>0.99</u>	<u>0.98</u>	<u>0.98</u>	<u>0.99</u>	<u>0.99</u>	<u>0.89</u>	<u>0.99</u>	0.36	<u>0.99</u>
Se	<u>0.96</u>	<u>0.90</u>	<u>0.98</u>	-0.57	-0.01	<u>0.94</u>	<u>0.95</u>	<u>0.90</u>	<u>0.96</u>	<u>0.94</u>	<u>0.96</u>	<u>0.91</u>	-0.45	<u>0.92</u>	<u>0.95</u>	<u>0.86</u>	<u>0.96</u>	0.21	<u>0.94</u>

Овие негативни ефекти од хиперакумулацијата врз животната средина може да се избегнат со отстранување на растителната материја од животната средина. Ова е скапа постапка, па затоа на концептот на фитоекстракција треба внимателно да се размислува пред имплементација. Така, во поново време, се повеќе се настојува овие растенија да се искористат во една нова постапка на рударење, наречена фиторударење.

Во ентузијазмот на опишување нова техника е тешко да не се биде обвинет за пренагласување на случајот, но кој во 50-тите би верувал дека Бразил еден ден би можел да одгледува производ за моторно гориво преку производство на алкохол од шеќерна трска за таа цел! Потенцијалот на фиторударењето не е ништо друго туку резултат на ова.

10. ЗАКЛУЧОК

* Рударењето (ископувањето), подготовката и хидрометалуршкото извлекување на минералните сировини во рудникот Бучим создаваат цврсти, течни и гасовити отпадоци. Оттука, рудничкиот отпад може да се подели на цврст отпад од ископувањето (рудничка јаловина), од минералната подготовка (флотациска јаловина) и од хидрометалуршката преработка (хидрометалуршки отпад), како и руднички води.

*Со пуштањето во работа на постројка за добивање на бакар со метода на лужење од оксидно - сулфидните руди на рудникот Бучим, со локација на простор под одлагалиштето бр. 1 се овозможи и третирање на одлагалиштето како техногено наоѓалиште на севкупните количини на депонирани рудни маси третирани како јаловина на преку 120.000.000 t, со просечни содржини на бакар од 0,080%, сулфидниот рудничкиот отпад депониран тука е реална подлога за загадување на човековата околина (води, почви и растенија), но и извор на економски бенефит.

*Со споредбата на добиените резултати од анализите на тешки метали во примероците од почви од околината на рудникот Бучим со референтните и интервентните вредности на поедините елементи опфатени со холандските стандарди, само примероците Р – 15, Р – 17 и Р – 18 ги надминуваат интервентните вредности за Cu од 190 mg/kg и за As од 55 mg/kg; како и примероците Р – 1 и Р – 10 кои ги надминуваат интервентните вредности за Pb (530 mg/kg), Zn (720 mg/kg) и As (55 mg/kg).

*Зелените влакнести алги присутни во АМД – водите во рудникот Бучим ги атсорбираат и сталожуваат металите и полуметалите од рудничките води (pH – вредност 3.6 – 5.5; 30 – 40 mg/l Cu во растворот, алгите содржат 0,258 % Cu).

*Минералошкиот состав на испитуваните стрим седименти од реката Крива Лакавица го покажува халкоалунитот $(\text{CuAl}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_{12} \times 3\text{H}_2\text{O})$ како главна минеролошка стапица за бакарот излужен од подрачјето на рудникот Бучим кон блиските водени токови.

*Резултатите од анализите на примероците вода земени од мерните места М – 4 (Бучимско Езеро, истек од брана, max 341 mg/l Cu) и М – 3 (дренажна вода од депонија на рудничка јаловина бр. 1, Јасенов Дол, max 704,7 mg/l Cu), покажуваат дека овие дренажни области се значително контаминирани со Cu и до неколку илјади пати над МДК.

* Во рамките на рудникот Бучим се применува лужење на куп. Овој проект претставува продолжение на започнатите активности, со што конечно е решен проблемот со загадување на површинските води во околината на Бучим со загадените дренажни води, а решението покрај еколошки има и економски карактер. Комплексот ќе произведува до 2800 t бакар годишно.

* Одлагалиштето бр. 1 е поделено на 10 наводнувачки полиња, при што наводнувачкото поле бр. 4 со површина на оросување од приближно 4,4 ha, која е само околу 8% од вкупната површина на одлагалиштето бр.1, која изнесува околу 55 ha, има економска вредност од околу 19. 000. 000 USD.

* Во рудникот Бучим, се откопуваат нискокоефициентни метални руди, при што извлечените рудни минерали се само мал дел (1.3 %) од вкупната откопана рудна маса; најголемиот дел од ископаниот материјал завршува како јаловина (98.7%).

* Денес браната на хидројаловиштето Тополница е издигната до кота 642 m. Во моментот браната е со висина од 144 m и должина на круната над 800 m. Во овој простор се сместени 80 000 000 m³ јаловина, т.е флотациското јаловиште содржи над 60 000 000 t маса со околу 0.04% Cu, <0.3 g/t Ag, < 0.3 g/t Au.

* Вкупна вредност на техногеното наоѓалиште на Cu врзано за хидројаловиштето Тополница изнесува околу 150 000 000 USD.

* При процесот на флотација во рудникот Бучим искористувањата изнесуваат: 85 – 90% за Cu, 55 – 60 % за Au, 28 – 35 % за Ag.

* Со досегашните резултати од истражените дупнатини на круната на хидројаловиштето Тополница се јавуваат секундарни збогатувања на злато во три нивоа, каде содржината се движи во рамки од 0.1 – 0.7 g/t.

* Проучуваното растение багрем (лат. *Robinia pseudoacacia*) кое успешно е применето во процесот на рекултивација на хидројаловиштето Тополница, е акумулатор на метали Mo (TF = 1.54 – 3.56), Ni (TF = 0.07 – 1.23), Zn (TF = 0.31 – 0.49), Cu (TF = 0.11 - 0.59) и Mn (TF = 0.10 – 0.65). Растението багрем е хиперакумулатор на Mo (TF > 1).

11. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES)

- Anderson, CWN., Brooks, RR., Stewart, RB., Simcock, R.** (1998) Harvesting a crop of gold in plants. *Nature* 395:553–554.
- Appelo, CAJ., Postma, D.** (1999) *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema, Rotterdam.
- Appleyard, E.C., Blowes, D.W.,** (1994) Applications of mass-balance calculations to weathered sulfide mine tailings. *Environmental Geochemistry of Sulfide Oxidation*, C.N. Alpers and D.W. Blowes, Eds., American Chemical Society, Symposium Series Vol. 550, pp. 516–534.
- Ariza, LM.** (1998) River of vitriol. *Sci Amer* 279(3):15–18.
- Ashley, PM., Lottermoser, BG.** (1999a) Geochemical, mineralogical and biogeochemical characterisation of abandoned metalliferous mine sites, southern New England Orogen. In: *Proceedings of the NEO'99 Conference*. Armidale, Division of Earth Sciences, University of New England, pp. 409–418.
- Bennett, JW., Ritchie, AIM.** (1993) Bio-oxidation of pyrite in mine wastes. Mechanisms which govern pollutant generation. In: *Biomine '93, International conference and workshop applications of biotechnology to the minerals industry*. Australian Mineral Foundation, Glenside, pp. 12.1–12.9.
- Bermanec, V., Žigovečki, Ž., Tomašić, N., Palinkaš, L.A., Kniewald, G., Serafimovski, T.** Stream sediment mineralogy as indicator of environmental impact of copper deposits exploitation in Buchim, Macedonia (2005) 3rd International Workshop on the UNESCO – IGCP Project: Anthropogenic Effects on the human Environment in Tertiary Basins in the Mediterranean, Štip, 87 – 90.
- Birke, M., Rauch, U.** (1999) Trace metals in the Berlin metropolitan area. *Proc. 5th Int. Conf. Biogeochem. Trace Elements*, Viena, p. 628.
- Blowes, DW., Ptacek, CJ.** (1994) Acid-neutralization mechanisms in inactive mine tailings. In: Jambor JL, Blowes DW (eds) *Environmental geochemistry of sulfide mine-wastes*. Mineralogical Association of Canada, Nepean (Short course handbook, vol 22, pp 271–292).
- Boev, B., Zivanovic, J., Lepitkova, S.** (2005) Selenium and other trace elements in the soils of the Tikves region. 3rd International Workshop on the UNESCO – IGCP Project: Anthropogenic Effects on the human Environment in Tertiary Basins in the Mediterranean, Štip, 23 – 35.
- Boon, M., Snijder, M., Hansford, GS., Heijnen, JJ.** (1998) The oxidation kinetics of zinc sulphide with *Thiobacillus ferrooxidans*. *Hydrometall* 48:171–186.
- Brake, SS., Dannelly, HK., Connors, KA.** (2001a) Controls on the nature and distribution of an alga in coal mine-waste environments and its potential impact on water quality. *Environ Geol* 40:458–469.
- Brooks, RR.** (1998) *Plants that hyperaccumulate heavy metals: their role in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining*. CAB International, Wallingord.
- Brown, M., Barley, B., Wood, H.** (2002) *Minewater treatment: technology, application and policy*. International Water Association Publishing.
- Craw, D., Chappell, D., Nelson, M., Walrond, M.** (1999) Consolidation and incipient oxidation of alkaline arsenopyrite-bearing mine tailings, Macreas Mine, New Zealand. *Appl Geochem* 14:485–498.
- Crock, JG., Arbogast, BF., Lamothe, PJ.** (1999) Laboratory methods for the analysis of environmental samples. In: Plumlee GS, Logsdon MS (eds) *The environmental geochemistry of mineral deposits. Part A: Processes, techniques and health Issues*. Society of Economic Geologists, Littleton (Reviews in economic geology, vol 6A, pp. 265–287).
- Davies, MP., Martin, TE.** (2000) Upstream constructed tailings dams – a review of the basics. In: *Tailings and mine waste '00*. Balkema, Rotterdam, pp 3–15.
- Demchak, J., Skousen, J., McDonald, LM.** (2004) Longevity of acid discharges from underground mines located above regional water table. *J Environ Qual* 33:656–668.

- Deutsch, WJ.** (1997) Groundwater geochemistry: fundamentals and applications to contamination. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Диклић, Н. Р.** (1972) pseudo-acacia L. 1753 У: Јосифовић М (ed.) Флора СР Србије IV. САНУ: Београд.
- Environment Australia** (1997) Managing sulphidic mine wastes and acid drainage. Best practice environmental management in mining. Environment Australia, Canberra.
- Evangelou, VP.** (1995) Pyrite oxidation and its control. CRC Press, Boca Raton.
- Evangelou, VP., Zhang, YL.** (1995) A review: pyrite oxidation mechanisms and acid mine drainage prevention. Crit Rev Environ Sci Technol 25:141–199.
- Ferguson, KD., Erickson, PM.** (1988) Pre-mine prediction of acid mine drainage. In: Salomons W, Förstner U (eds) Environmental management of solid waste, dredged material and mine tailings. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 24–43.
- Ferris, FG., Tazaki, K., Fyfe, WS.** (1989) Iron oxides in acid mine drainage environments and their association with bacteria. Chem Geol 74:321–330.
- Ficklin, WH., Mosier, EL.** (1999) Field methods for sampling and analysis of environmental samples for unstable and selected stable constituents. In: Plumlee GS, Logsdon MS (eds) The environmental geochemistry of mineral deposits. Part A: Processes, techniques and health issues. Society of Economic Geologists, Littleton (Reviews in Economic Geology, vol 6A, pp 249–264).
- Ford, RC.** (2000) Closure of copper heap leach facilities in semi-arid and arid climates: challenges for strategic management of acid drainage. In: Proceedings from the 5th international conference on acid rock drainage, vol 2. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, pp. 1283–1289.
- Furniss, G., Hinman, NW., Doyle, GA., Runnells, DD.** (1999) Radiocarbon-dated ferricrete provides a record of natural acid rock drainage and paleoclimatic changes. Environ Geol 37:102–106.
- Gerke, HH., Molson, JW., Frind, EO.** (2001) Modelling the impact of physical and chemical heterogeneity on solute leaching in pyritic overburden mine spoils. Ecol Eng 17:91–101.
- Gibson, DK., Ritchie, AIM.** (1991) Options to control acid generation in existing pyritic mine waste dumps. In: Randol Gold Forum Cairns '91, pp 109–111.
- Gould, WD., Bechard, G., Lortie, L.** (1994) The nature and role of microorganisms in the tailings environment. In: Jambor JL, Blowes DW (eds) Environmental geochemistry of sulfide mine-wastes. Mineralogical Association of Canada, Nepean (Short course handbook, vol 22, pp. 185–199).
- Hadzi Jordanov, S., Maletic, M., Tasev, Z.** (2007) Risk assessment at Buchim Copper Mine, FRR. Of Macedonia. Faculty of technology and metallurgy (FTM) – Skopje
- Harries, JR.** (1997) Acid mine drainage in Australia: its extent and potential future liability. Supervising Scientist report 125. Supervising Scientist, Canberra.
- Hodson, ME.** (2004) Heavy metals: geochemical bogey men? Environ Poll 129:341–343.
- Hoenig, M.** (2001) Preparation steps in environmental trace element analysis – facts and traps, Talanta, 54, 2021 – 1038.
- Holmström, H., Öhlander, B.** (1999) Oxygen penetration and subsequent reactions in flooded sulphidic mine tailings: a study at Stekenjokk, northern Sweden. Appl Geochem 14:747–759.
- Jambor, JL.** (1994) Mineralogy of sulfide-rich tailings and their oxidation products. In: Jambor JL, Blowes DW (eds) Environmental geochemistry of sulfide mine-wastes. Mineralogical Association of Canada, Nepean (Short course handbook, vol 22, pp 59–102).
- Jambor, JL., Blowes, DW., Ptacek, CJ.** (2000b) Mineralogy of mine wastes and strategies for remediation. In: Vaughan DJ, Wogelius RA (eds) Environmental mineralogy. EMU Notes in Mineralogy, vol 2, pp 255–290.
- Johansson, L., Xydas, C., Messios, N., Stoltz, E., Greger, M.** (2005) Growth and Cu accumulation by plants grown on Cu containing mine tailings in Cyprus. Appl Geochem 20:101–107.

- Johnson, DB.** (1998a) Biological abatement of acid mine drainage: the role of acidophilic protozoa and other indigenous microflora. In: Geller W, Klapper H, Salomons W (eds) *Acidic mining lakes*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 285–301.
- Jurjovec, J., Ptacek, CJ., Blowes DW** (2002) Acid neutralization mechanisms and metal release in mine tailings: a laboratory column experiment. *Geochim Cosmochim Acta* 66:1511–1523.
- Kabata – Pendias, A., Pendias, H.** (2001) *Trace elements in soil and plants*, Third Edition. CRC Press, Boca Raton, p. 16.
- Keith, CN., Vaughan, DJ.** (2000) Mechanisms and rates of sulphide oxidation in relation to the problems of acid rock (mine) drainage. In: Cotter-Howells JD, Campbell LS, Valsami-Jones E, Batchelder M (eds) *Environmental mineralogy: microbial interactions, anthropogenic influences, contaminated land and waste management*. Mineralogical Society, London (Mineralogical Society Series no 9, pp. 117–139).
- Kleinmann, RLP.** (1989) Acid mine drainage in the United States: controlling the impact on streams and rivers. In: 4th world congress on the conservation of built and natural environments. University of Toronto, pp. 1–10.
- Kwong, YTJ.** (1993) Mine site acid rock drainage assessment and prevention: a new challenge for a mining geologist. In: *Proceedings of the international mining geology conference*, Kalgoorlie, pp 213–217.
- Lachmar, T., Burk, NI., Kolesar, PT.** (2006) Groundwater contribution of metals from an abandoned mine to the North Fork of the American Fork River, Utah. *Water Air Soil Poll* 173:103–120.
- Lambert, DC., McDonough, KM., Dzombak, DA.** (2004) Long-term changes in quality of discharge water from abandoned coal mines in Uniontown Syncline, Fayette County, PA, USA. *Water Res* 38:277–288.
- Lapakko, K.** (2002) Metal mine rock and waste characterization tools: an overview. International Institute for Environment and Development (<http://www.iied.org/mmsd/>).
- Lasaga, AC., Berner, RA.** (1998) Fundamental aspects of quantitative models for geochemical cycles. *Chem Geol* 145:161–175.
- Leblanc, M., Achard, B., Othman, DB., Luck, JM., Bertrand-Sarfati, J., Personné, JC.** (1996) Accumulation of arsenic from acidic mine waters by ferruginous bacterial accretions (stromatolites). *Appl Geochem* 11:541–554.
- Li, MG., Jacob, C., Comeau, G.** (1996) Decommissioning of sulphuric acid-leached heap by rinsing. In: *Tailings and mine waste '96*. Balkema, Rotterdam, pp. 295–304.
- Lin, Z.** (1997) Mineralogical and chemical characterization of wastes from the sulfuric acid industry in Falun, Sweden. *Environ Geol* 30:152–162.
- Linklater, CM., Sinclair, DJ., Brown, PL.** (2005) Coupled chemistry and transport modeling of sulphidic waste rock dumps at the Aitik mine site, Sweden. *Appl Geochem* 20:275–293.
- Ljungberg, J., Öhlander, B.** (2001) The geochemical dynamics of oxidising mine tailings at Laver, northern Sweden. *J Geochem Explor* 74:57–72.
- Lottmoser, BG.** (2007) *Mine Wastes: Characterization, treatment and environmental impacts*, 304, School of Earth and Environmental Sciences, James Cook University, Australia.
- Luther, GW.** (1987) Pyrite oxidation and reduction: molecular orbital theory considerations. *Geochim Cosmochim Acta* 51:3193–3199.
- McCarty, DK., Moore, JN., Marcus, WA.** (1998) Mineralogy and trace element association in an acid mine drainage iron oxide precipitate: comparison of selective extractions. *Appl Geochem* 13:165–176.
- McKnight, DM., Kimball, BA., Bencala, KE.** (1988) Iron photoreduction and oxidation in an acidic mountain stream. *Science* 240:637–640.
- Mendez, M., Maier, M.** (2008) Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments – An emerging remediation Technology, Department of Soil, Water, and Environmental Science, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA,

- Miller, SD.** (1998b) Theory, design and operation of covers for controlling sulfide oxidation in waste rock dumps. In: McLean RW, Bell LC (eds) Proceedings of the 3rd Australian acid mine drainage workshop. Australian Centre for Minesite Rehabilitation Research, Brisbane, pp. 115–126.
- Mitchell, P.** (2000) Prediction, prevention, control and treatment of acid rock drainage. In: Warhurst A, Noronha L (eds) Environmental policy in mining: corporate strategy and planning for closure. Lewis Publishers, Boca Raton, pp. 117–143.
- Morin, KA., Hutt, NM.** (1994) An empirical technique for predicting the chemistry of water seeping from mine-rock piles. In: Proceedings of the international land reclamation and mine drainage conference and 3rd international conference on the abatement of acidic drainage, vol 1. United States Department of the Interior, Bureau of Mines (Special Publication SP06A-94, pp 12–19).
- Morin, KA., Hutt, NM.** (1997) Environmental geochemistry of minesite drainage. MDAG Publication, Vancouver.
- Munk, LA., Faure, G., Pride, DE., Bigham, JM.** (2002) Sorption of trace metals to an aluminum precipitate in a stream receiving acid rock-drainage: Snake River, Summit County, Colorado. *Appl Geochem* 17:421–430.
- Munroe, EA., McLemore, VT., Kyle, P.** (1999) Waste rock pile characterization, heterogeneity, and geochemical anomalies in the Hillsboro Mining District, Sierra County, New Mexico. *J Geochem Explor* 67:391–405.
- Nordstrom, DK., Alpers, CN.** (1999b) Negative pH, efflorescent mineralogy, and consequences for environmental restoration at the Iron Mountain Superfund site, California. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96:3455–3462.
- Ollier, CD., Pain, CF.** (1997) Regolith, soils and landforms. Wiley, New York
- Parker, G.** (1999) A critical review of acid generation resulting from sulfide oxidation: processes, treatment and control. In: Acid drainage. Australian Minerals & Energy Environment Foundation, Melbourne (Occasional paper no 11, pp. 1–182).
- Paschke, SS., Harrison, WJ., Walton-Day, K.** (2001) Effects of acidic recharge on groundwater at the St. Kevin Gulch site, Leadville, Colorado. *Geochem Explor Environ Anal* 1:3–14.
- Perkins, EH., Gunter, WD., Nesbitt, HW., St-Arnaud, LC.** (1997) Critical review of classes of geochemical computer models adaptable for prediction of acidic drainage from mine waste rock. In: Proceedings from the 4th international conference on acid rock drainage, vol. 2. Vancouver, pp. 587–601.
- Pilon-Smiths, EAH., Zhu, Y-L., Terry, N.** (2000) Improved metal phytoremediation through plant biotechnology. In: Tailings and mine waste '00. Balkema Publishers, Rotterdam, pp 317–320.
- Pirrie, D., Camm, GS., Sear, LG., Hughes, SH.** (1997) Mineralogical and geochemical signature of mine waste contamination, Tresillian River, Fal Estuary, Cornwall, UK. *Environ Geol* 29:58–65.
- Plumlee, GS.** (1999) The environmental geology of mineral deposits. In: Plumlee GS, Logsdon MS (eds) The environmental geochemistry of mineral deposits. Part A: Processes, techniques and health issues. Society of Economic Geologists, Littleton (Reviews in economic geology, vol 6A, pp 71–116).
- Posey, HH., Renkin, ML., Woodling, J.** (2000) Natural acid drainage in the upper Alamosa River of Colorado. In: Proceedings from the 5th international conference on acid rock drainage, vol 1. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, pp 485–498.
- Puura, E., Neretnieks, I.** (2000) Atmospheric oxidation of the pyritic waste rock in Maardu, Estonia. 2: An assessment of aluminosilicate buffering potential. *Environ Geol* 39:560–566.
- Rimstidt, JD., Chermak, JA., Gagen, PM.** (1994) Rates of reaction of galena, sphalerite, chalcopyrite and arsenopyrite with Fe(III) in acidic solutions. In: Alpers CN, Blowes

- DW (eds) Environmental geochemistry of sulfide oxidation. American Chemical Society, Washington DC (Symposium Series 550, pp 2–13).
- Rimstidt, JD., Vaughan, DJ.** (2003) Pyrite oxidation: a state-of-the-art assessment of the reaction mechanism. *Geochim Cosmochim Acta* 67:873–880.
- Ritcey GM** (1989) Tailings management. Problems and solutions in the mining industry. Elsevier, Amsterdam.
- Robertson, WD.** (1994) The physical hydrogeology of mill-tailings impoundments. In: Jambor JL, Blowes DW (eds) Environmental geochemistry of sulfide mine-wastes. Mineralogical Association of Canada, Nepean (Short course handbook, vol 22, pp 1–17).
- Robinson, B.H., Chiarucci, A., Brooks, RR., Petit, D., Kirkman, JH., Gregg, PEH., Dominicus de, V.** (1997) The nickel hyperaccumulator plant *Alyssum bertolonii* as a potential agent for phytoremediation and phytomining of nickel. *J Geochem Explor* 59:75–86.
- Rodushkin, I., Ruth, T., Huhtasaari Å.** (1999) Comparison of two digestion methods for elemental determinations in plant material by ICP techniques, *Analytica Chimica Acta*, 378, 191 – 200.
- Ripley, EA., Redmann, RE., Crowder, AA.** (1996) Environmental effects of mining. St Lucie Press, Delray Beach.
- Romano, P., Blazquez, ML., Alguacil, FJ., Munoz, JA., Ballester, A., Gonzalez, F.** (2001) Comparative study on the selective chalcopyrite bioleaching of a molybdenite concentrate with mesophilic and thermophilic bacteria. *FEMS Microbiol Lett* 196:71–75.
- Sagioglu, A., Sasmaz, A., Sen, Ö.** (2005) Hyperaccumulator plants of the Keban Mining District and their possible impact on the environment. *Polish J. Environ. Stud.* Vol. 15, No. 2, 317 – 325.
- Salomons, W.** (1995) Environmental impact of metals derived from mining activities: processes, predictions, prevention. *J Geochem Explor* 52:5–23.
- Schemel, LE., Kimball, BA., Bencala, KE.** (2000) Colloid formation and metal transport through two mixing zones affected by acid mine drainage near Silverton, Colorado. *Appl Geochem* 15:1003–1018.
- Seal, RR., Hammarstrom, JM.** (2003) Geoenvironmental models of mineral deposits: examples from massive sulfide and gold deposits. In: Jambor JL, Blowes DW, Ritchie AIM (eds) Environmental aspects of mine wastes. Mineralogical Association of Canada, Nepean (Short course handbook, vol 31, pp 11–50).
- Serafimovski, T., Alderton, H. M. D., Dolanec, T., Tasev, G., Dolanec, M.** (2005) Metal pollution around Bučim mine. 3rd International Workshop on the UNESCO – IGCP Project: Anthropogenic Effects on the human Environment in Tertiary Basins in the Mediterranean, Štip, 36 – 56.
- Serafimovski, T., Alderton, H. M. D., Mullen, B., Fairall, K.** (2004) Pollution associated with metal mining in Macedonia, 32nd International Geological Congress, Florence.
- Serafimovski, T., Mihajlov, M., Siderovski, K., Tasev, G., Konzulov, G.,** (2011) Anthropogenic influence of the Buchim mine waste dump and hydrotailing to the surface and ground waters in the Lakavica basin, Macedonia. 3rd International Workshop on the UNESCO – IGCP Project: Anthropogenic Effects on the human Environment in Neogene Basins in the SE Europe, Štip – R. Macedonia, 39 – 52.
- Sherlock, EJ., Lawrence, RW., Poulin, R.** (1995) On the neutralization of acid rock drainage by carbonate and silicate minerals. *Environ Geol* 25:43–54.
- Shum, M., Lavkulich, L.** (1999) Speciation and solubility relationships of Al, Cu and Fe in solutions associated with sulfuric acid leached mine waste rock. *Environ Geol* 38:59–68.
- Singer, PC., Stumm, W.** (1970) Acid mine drainage: rate-determining step. *Science* 167:1121–1123.
- Smith, KS.** (1999) Metal sorption on mineral surfaces: an overview with examples relating to mineral deposits. In: Plumlee GS, Logsdon MS (eds) The environmental

- geochemistry of mineral deposits. Part A: Processes, techniques and health issues. Society of Economic Geologists, Littleton (Reviews in economic geology, vol 6A, pp 161–182).
- Smith, A., Robertson, A., Barton-Bridges, J., Hutchison, IPG.** (1992) Prediction of acid generation potential. In: Hutchison IPG, Ellison RD (eds) Mine waste management. Lewis Publishers, Boca Raton, pp. 123–199.
- SMME (Society for Mining, Metallurgy, and Exploration)** (1998) Remediation of historical mine sites: technical summary and bibliography. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton.
- Šmuc, N.R., Dolenec, T., Serafimovski, T., Tasev, G., Dolenec, M., Vrhovnik, P.** (2011) Transfer factor evaluation in the Kočani field soil – plant system (Republic of Macedonia). 3rd International Workshop on the UNESCO – IGCP Project: Anthropogenic Effects on the human Environment in Neogene Basins in the SE Europe, Ljubljana - Slovenia, 15 – 20.
- Stafilev, T., Balabanova, B., Šajn, R., Bačeva, K., Boev, B.** (2010) Geochemical atlas of Radoviš and the environs and the distribution of heavy metals in the air. Faculty of Natural Sciences and Technical, Skopje.
- Stouraiti, C., Xenidis, A., Paspaliaris, I.** (2002) Reduction of Pb, Zn and Cd availability from tailings and contaminated soils by the application of lignite fly ash. *Water Air Soil Poll* 137:247–265.
- Strömberg, B., Banwart, SA.** (1999) Experimental study of acidity-consuming processes in mine waste rock: some influences of mineralogy and particle size. *Appl Geochem* 14:1–16.
- Stumm, W., Morgan, JJ.** (1995) Aquatic chemistry, 3rd edn. Wiley, New York.
- Sverdrup, HU.** (1990) The kinetics of base cation release due to chemical weathering. Lund University Press, Lund.
- Thornton, I., Ramsey, M., Atkinson, N.** (1995) Metals in the global environment: facts and misconceptions. International Council on Metals and the Environment, Ottawa.
- Тодоровски, Ѓ., Филев, К., Митев, М.** (1996) Применета методологија на управување со квалитетот на минералната сировина во експлоатацијата на минералната сировина во експлоатацијата на порфирското наоѓалиште Бучим. II Југословенско советување о рудничкој геологиј, Бор.
- Trendafilov, A., Andonski, A., Trendafilov, B.** (2007) Project for biological reclamation of the tailing dam “Topolnica” and its immediate surroundings. Faculty of forestry, Skopje.
- Tudjarov, N., Mitevski, G., Zdravkovski, T.** (1996) Technogenic deposits. 191-197.
- Verlaan, PA., Wiltshire, JC.** (2000) Manganese tailings: a potential resource? *Mining Environmental Management* 8:21–22.
- Warhurst, A.** (2000) Mining, mineral processing, and extractive metallurgy: an overview of the technologies and their impact on the physical environment. In: Warhurst A, Noronha L (eds) Environmental policy in mining: corporate strategy and planning for closure. Lewis Publishers, Boca Raton, pp. 33–56.
- Younger, PL., Banwart, SA., Hedin, RS.** (2002) Mine water: hydrology, pollution, remediation. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Čifliganec, V.** (1993) Copper mineralization in the Republic of Macedonia: Types and distribution patterns: With special reference to the porphyry copper deposit Bučim. Faculty of mining and Geology – Štip, Skopje, 303, 5 – 12.